



---

# Dependencia de la autosuficiencia energética en la densidad y emplazamiento en poblaciones españolas.

Ana Lozano Coronel

Grado en Ingeniería Eléctrica

25 de Septiembre de 2017

Tutor: Víctor Tribaldos Macías



## Contenido

Agradecimientos.....	5
Resumen .....	7
Capítulo I.....	9
Introducción.....	9
Capítulo II.....	13
1. Energía eólica.....	14
1.1 Límite de Betz .....	16
1.2 Distribución de Weibull.....	19
1.3 Morfología de un aerogenerador.....	19
1.4 Rosa de viento .....	21
1.5 Impacto medioambiental .....	22
1.6 Tecnología Offshore .....	23
1.7 Aerogenerador genérico .....	24
2. Energía solar .....	25
2.1 Energía solar fotovoltaica.....	25
2.2 Energía solar térmica.....	29
2.3 Energía solar de concentración .....	32
3. Mareomotriz .....	36
4. Geotérmica .....	37
4.1 Tecnología .....	38
4.2 Aplicaciones .....	39
5. Biomasa.....	40
6. Energía hidráulica .....	42
6.1 Tipos de turbinas .....	44
Capítulo III.....	45
1. Necesidades energéticas para transporte .....	46
2. Climatización.....	50
2.1 Calentamiento de agua doméstica .....	50
2.2 Calentamiento/enfriamiento de alimentos.....	52
2.3 Calefacción/Aire acondicionado .....	52
3. Consumo general doméstico.....	54
4. Iluminación del hogar.....	55
5. Resumen de consumos.....	57

<b>Capítulo IV.....</b>	<b>59</b>
<b>1. Potencial eólico.....</b>	<b>61</b>
<b>2. Potencial solar .....</b>	<b>65</b>
<b>Capítulo V.....</b>	<b>69</b>
<b>1. Instalación eólica .....</b>	<b>70</b>
<b>2. Instalación solar fotovoltaica .....</b>	<b>74</b>
<b>3. Coste del proyecto.....</b>	<b>78</b>
<b>Capítulo VI.....</b>	<b>79</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>79</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo I .....</b>	<b>87</b>
<b>Capítulo III.....</b>	<b>87</b>
<b>Capítulo IV.....</b>	<b>88</b>
<b>Capítulo V.....</b>	<b>90</b>
<b>Anexo II .....</b>	<b>94</b>
<b>Datos generales de las Comunidades Autónomas/ provincias.....</b>	<b>94</b>
<b>Superficies de las Comunidades Autónomas/ provincias .....</b>	<b>96</b>
<b>Anexo III .....</b>	<b>100</b>
<b>Recurso solar de las Comunidades Autónomas/ provincias .....</b>	<b>100</b>
<b>Recurso eólico de las Comunidades Autónomas/ provincias .....</b>	<b>110</b>

# Agradecimientos

Todo empezó hace algo menos de 5 años, cuando en clase se escuchó “You can’t always get what you want, but if you try sometimes you just might find”. En ese momento, que todavía sigo recordando como si fuera ayer, realmente me di cuenta que hay personas que te llegan, que te cambian como estudiante y como persona. Gracias Víctor, todo esto no habría sido posible sin ti.

A mis padres y a mi hermana, por su paciencia y su apoyo durante toda esta etapa y durante toda la vida.

A mis chicos, por tantas horas de biblioteca, por las desilusiones que nos obligaban a levantarnos cada vez con más fuerza y las alegrías que hacían que todo esto mereciera la pena. Lo hemos conseguido.

A ti, por tu ayuda, por redescubrirme.

“You only live twice: one life for yourself and one life for your dreams”



# Resumen

El objeto de este documento consiste en encontrar las Comunidades Autónomas o provincias peninsulares que podrían alimentar su autoconsumo mediante la generación de energías renovables: eólica y solar fotovoltaica fundamentalmente.

Se estudian factores como los GWh que se destinan al autoconsumo de particulares, la superficie que se debe ocupar para abastecerlo o la dimensión de las instalaciones.

Una vez conocidos estos datos se analiza la viabilidad económica para saber, en definitiva, si es viable o no la producción de estas energías y si el precio del kWh actual es competitivo para este tipo de instalaciones.

The objective of this document consist on finding the peninsular Autonomous Community or province that could feed its own consume by renewable energies generation: wind energy and solar photovoltaic energy, essentially.

We study factors as GWh needed for particular's auto consumption, the surface required to supply it or the dimensions of the installations.

Once this data is known the economic viability is analyzed to know if the production of this energies is viable or not and even more, if the current price of the kWh is competitive for this kind of installations.





# Capítulo I

## Introducción

La sociedad actual en la que vivimos mantiene una estrecha relación con la energía y su consumo. Esto es así hasta el punto en que el bienestar y la economía, tal y como la conocemos a día de hoy, dependen directamente de dicha energía.

Si por energía entendemos las fuentes convencionales, como son las centrales de carbón o el ciclo combinado o la nuclear, podemos observar que toda nuestra producción de energía necesita del exterior: España es un país sin yacimientos tanto de carbón como de petróleo o gas natural (inexistentes a nivel nacional), por lo que la importación de dichos recursos nos es imprescindible.

La mayoría de los combustibles fósiles que se utilizan en España son importados estableciendo así una dependencia estratégica del exterior. Según el periódico El País “el 98% de los combustibles fósiles consumidos en 2015 vinieron del exterior” [1].

Esta ha sido, y es, una de las principales causas que han acotado el crecimiento económico español. Si al problema de los escasos yacimientos de carbón le añadimos lo dificultosa que resulta su extracción, su bajo rendimiento y la escasa potencia de las capas, obtenemos que sale más barato importar el carbón desde Australia que utilizar el propio nacional.

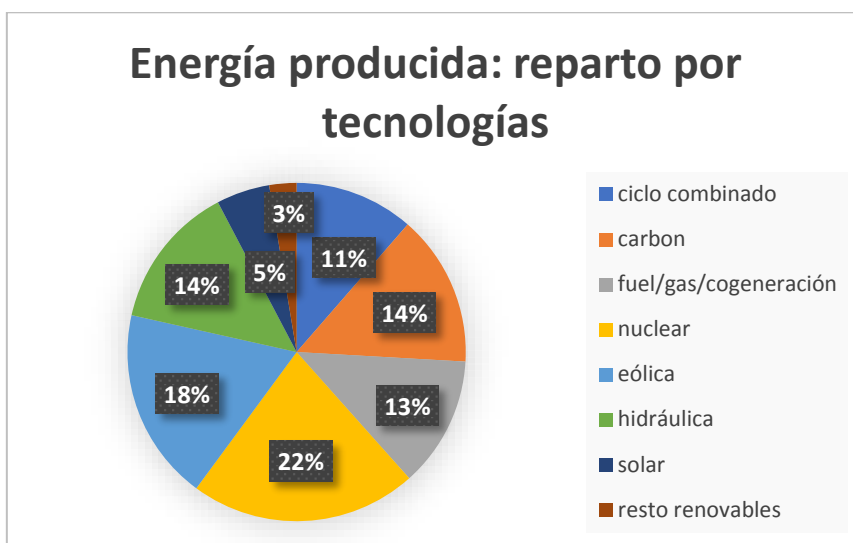
Asimismo, los combustibles fósiles tienen connotaciones muy negativas añadidas: la polución que emiten cuando se queman y el deterioro que supone para el medio ambiente su extracción.

El 84% de las emisiones globales por quema de combustibles fósiles provienen de países miembros del G20. Los gases contaminantes, grandes contribuyentes al efecto invernadero, que se emiten a la atmósfera son los óxidos de azufre, óxido de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono entre otros, que afectan tanto a la salud de las personas como al medio ambiente de una forma muy nociva.

Por otro lado, la extracción de petróleo supone un riesgo constante para la biodiversidad debido a los vertidos que se producen en las aguas adyacentes a la plataforma. [2]

Todos estos aspectos nos conducen a un problema de carácter estratégico, como se dijo anteriormente, que se ha de solucionar en los próximos años: no somos capaces de controlar nuestro propio futuro, ni por tanto la economía ni la sociedad de bienestar.

Según los datos de REE, en 2016 un 38.4% de la energía eléctrica producida en España se debe al uso de los combustibles fósiles mediante centrales de ciclo combinado (11.4%), carbón (14.5%), centrales de fuel/gas/cogeneración (12.5%). El resto de la producción se desglosa en: el 21.7% se corresponde con las centrales nucleares, 18.4 % con la eólica, 13.8% hidráulica, 5.1% solar y el 2.6% restante con el resto de renovables.



*Figura 1 – Reparto por tecnologías.*

Quedando así el reparto es evidente que somos dependientes, hablando en términos energéticos, de los combustibles fósiles.

Con todos los problemas que nos plantea el uso de dichos combustibles es indiscutible la necesidad de una solución: energías renovables y limpias (no generan residuos). Afortunadamente, España posee un gran potencial para las energías renovables, inexplorado en su mayor parte hasta la fecha, lo que nos brinda una gran oportunidad de crecimiento económico.

Según la RAE se define energía renovable como aquella energía cuyas fuentes se presentan en la naturaleza de modo continuo y prácticamente inagotable. Son la energía hidráulica, la eólica, la solar, la biomasa, la geotérmica y la mareomotriz.

Cabe por tanto preguntarse por el potencial para la generación renovable y la posible autosuficiencia. Ya en 2009 David JC MacKay en su libro *SustainableEnergy- without the hot air* [3] partiendo de hipótesis razonables restimaba la necesidad energética para el Reino Unido.

En este trabajo se plantea ir un paso más allá y no solo estimar el potencial de generación sino también la posibilidad de que ésta sea suficiente para cubrir las necesidades de una población en función de su localización y número de habitantes.

España es un país con unas condiciones muy favorables para la implantación de energías renovables por su diversidad geográfica: es fácil encontrar zonas ventosas apropiadas para aerogeneradores, ríos con múltiples saltos (aunque poco caudalosos) y por su puesto gran cantidad de horas de sol de calidad que hacen idónea la energía solar.

La suma de todos estos aspectos nos lleva a preguntarnos si sería posible generar de forma sostenible y limpia toda la energía eléctrica necesaria para distintas poblaciones españolas en función de su localización geográfica y su densidad de población. Esto es, su autosuficiencia energética.

Para ello tendremos que estimar la cantidad de energía que es posible generar con cada una de las fuentes de energía renovable que consideraremos y las necesidades energéticas de diversas poblaciones. Mientras que la generación renovable depende de principios físicos básicos, de la tecnología empleada y la situación geográfica, las necesidades energéticas dependen fuertemente de la economía, la idiosincrasia, la situación geográfica e incluso la historia de la población.

En conclusión, se estudiará la dependencia de la autosuficiencia energética en la densidad y emplazamiento en poblaciones españolas.

Para ello, en los siguientes capítulos se analizarán:

- Las distintas fuentes renovables que tienen sentido en el panorama nacional y se analizarán sus principios físicos básicos (Capítulo II)
- Las necesidades energéticas por habitante y su dependencia (Capítulo III)
- Los resultados para la viabilidad de la autosuficiencia, desde España como nación hasta su desglose por comunidades autónomas. (Capítulo IV)
- Resultados económicos: condiciones que hacen posible el desarrollo del proyecto considerando los costos económicos reales (Capítulo V)
- Conclusiones (Capítulo VI)

# Capítulo II

Todas las fuentes de energía renovables proceden del sol, a excepción de la geotérmica, e incluso las provenientes de combustibles fósiles tienen su origen en el sol. El sol es la causa de las corrientes de aire, del ciclo del agua con la correspondiente evaporación de agua, formación de nubes y de las precipitaciones y marca los ritmos biológicos de plantas para la producción de biomasa.

Uno de los mayores problemas que presentan las energías renovables es la intermitencia, cosa muy indeseable para la industria y a su vez causa principal que menoscaba la explotación de estos recursos.

Dada la dependencia de la generación con la superficie y el consumo de una población con su número de habitantes, durante este trabajo será de utilidad emplear para caracterizar las posibles fuentes de energía renovables la densidad de energía y sus múltiplos:

$$E_{producida} = \frac{kWh}{m^2} \cdot m^2$$

Ejemplo. Producir energía sostenible precisa de gran espacio, mucho más que la convencional. La central de ciclo combinado de San Roque (Cádiz) tiene una potencia instalada de 800 MW y ocupa una superficie de 154260 m<sup>2</sup> [4]

$$800 \text{ MW} \cdot 8760 h_{\text{anuales}} = 7008000 \text{ MWh}$$

$$\frac{7008000 \text{ MWh}}{154260 \text{ m}^2} = 45.43 \text{ MWh/m}^2$$

A continuación se presentarán los diferentes tipos de energías renovables, así como sus principios de funcionamiento básicos y su tecnología. Se analizarán la energía eólica, la solar, biomasa, mareomotriz, geotérmica e hidráulica, aunque como veremos más adelante esta última no la consideraremos debido a su impacto aguas debajo de la presa instalada.

## 1. Energía eólica

La energía eólica se define como aquella energía que emplea la fuerza del viento para producir electricidad mediante el uso de aerogeneradores.

Su origen reside directamente en el sol, ya que este calienta el aire de la troposfera. El aire caliente, al ser menos denso que el colindante asciende, dándose lugar a corrientes verticales.

Se deben tener en cuenta también las peculiaridades de cada emplazamiento, ya que, en adición a estos efectos generales, también se provocan vientos de manera local:

- Brisas marinas: como la tierra se calienta más deprisa que el mar durante el día, el aire asciende y discurre hacia el mar. Este desnivel de aire atrae el aire frío procedente del mar, lo que se conoce como brisa marina.
- Vientos de montaña-valle: en el hemisferio norte se calientan en mayor medida las laderas con orientación sur, por lo que el aire adyacente a ellas asciende hasta la cima empujando el aire frío hacia el valle nuevamente, repitiéndose el ciclo durante el día. Al caer la noche este ciclo se invierte. Si el valle además está inclinado, el aire puede ascender y descender sin salir de dicho valle, produciéndose los conocidos vientos de cañón. En el hemisferio sur se da el caso opuesto.
- Rugosidad del terreno: una superficie rugosa como un monte o un casco urbano causa turbulencias que disminuyen la velocidad del viento.

- Variabilidad estacional: en zonas templadas los vientos de verano suelen ser menos intensos que los de invierno. En zonas frías la energía eólica supone un aliado perfecto ya que en verano no se consume electricidad para la climatización del hogar y en invierno se puede aprovechar el recurso eólico.

La atmósfera de media radia más calor del que recibe, por lo que el suelo, mediante conducción también calienta el aire generando otra vez el mismo fenómeno. Por la noche este fenómeno se invierte, no obstante, en las noches despejadas el suelo sigue radiando de manera eficaz, cediendo y absorbiendo calor del aire más próximo mediante conducción. La suma de estos aspectos conduce a la densificación del aire contiguo al suelo. Además, si sumamos el rozamiento existente entre el suelo y el aire se observa que hay una cierta capa de aire cercano al suelo que apenas se mueve, esta capa se conoce como *capa límite*.

Con frecuencia las mediciones del viento no se realizan a la altura a la que se instalará el aerogenerador, es preciso por tanto emplear la ley de variación de altura:

$$v = v_0 \left( \frac{h}{h_0} \right)^n$$

Siendo:

$v$  La velocidad del viento a una altura  $h$

$v_0$  La velocidad del viento a la altura  $h_0$  a la que se va a colocar el aerogenerador

$n$  Valor de la rugosidad (se proporciona en tablas, estándares establecidos)

Como se observará la energía que se puede extraer del aire depende directamente de la velocidad del viento, de su cubo exactamente, por lo que interesa colocar los aerogeneradores a alturas elevadas para un aprovechamiento máximo.

Supongamos una masa de aire  $m$  unidireccional y uniforme de velocidad  $v$ . La energía cinética será:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

El aire es un fluido con densidad  $\rho$ , con una cierta energía cinética por unidad de volumen:

$$e_c = \frac{1}{2}\rho v^2$$

Por otro lado, el flujo volumétrico  $\dot{Q}$  que atraviesa una superficie  $A$  es:

$$\dot{Q} = Av$$

Consecuentemente la potencia eólica a través de  $A$  es:

$$P = e_c \dot{Q} = \frac{1}{2}\rho A v^3$$

## 1.1 Límite de Betz

La energía contenida en el viento es enorme, pero no puede ser extraída por completo ya que esto supondría detenerlo, y por tanto no circularía a través de las palas de nuestro aerogenerador. Veremos cuál es el máximo teórico que es posible extraer. Este límite es conocido como el *límite de Betz*. Asimismo, durante la conversión de energía existen diferentes tipos de pérdidas, al no tratarse de máquinas ideales sino reales, de carácter eléctrico y mecánico.

Para hallar el límite de Betz supondremos una situación ideal:

- El aire es un fluido ideal con viscosidad nula.
- El viento será unidireccional con presión, velocidad y densidad constantes.
- No habrá obstáculos cercanos al aerogenerador que susciten interferencias.
- El flujo será estacionario, por lo que las variables no son función del tiempo.
- El aire es incompresible y no sufre variaciones de temperatura. Esto sucede cuando el aire alcanza la velocidad del sonido (340 m/s), lo cual es aceptable si tenemos en cuenta que la punta de pala puede llegar a moverse unas 6 veces la velocidad del viento, que será en torno a unos 100m/s, no despreciables frente a los 340 m/s.
- Todas las partículas que componen la corriente de aire son idénticas entre sí y ceden exactamente la misma cantidad de energía.



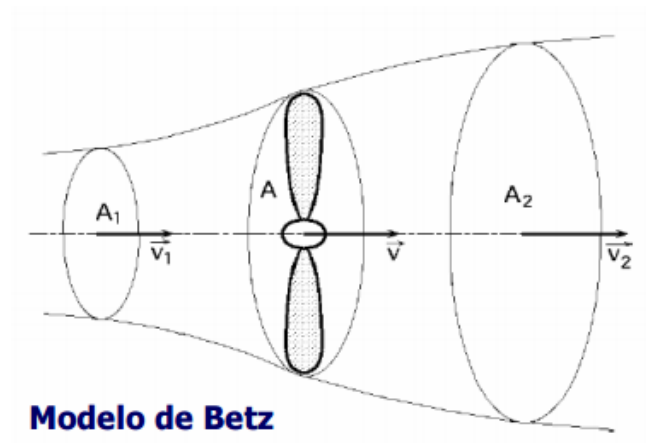


Figura 2 – Esquema que representa el modelo de Betz.

Si aplicamos la ecuación de continuidad (conservación de la masa de un fluido a través de varias secciones) obtenemos que:

$$\rho v_1 A_1 = \rho v_2 A_2$$

Se puede expresar la potencia que se extrae del viento de dos formas diferentes:

- 1- Pérdida de energía cinética del viento por unidad de tiempo

$$P = \frac{-\Delta E_c}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho A v (v_1^2 - v_2^2)$$

- 2- Mientras que la variación de momento da como resultado:

$$P = Fv = \rho A v^2 (v_1 - v_2)$$

Igualando ambas expresiones:

$$\frac{1}{2}\rho A v (v_1^2 - v_2^2) = \rho A v^2 (v_1 - v_2)$$

$$v = \frac{(v_1 + v_2)}{2}$$

$$v_2 = b v_1$$

Sustituyendo en cualquiera de las ecuaciones anteriores:

$$\frac{1}{2}\rho A \frac{(v_1 + b v_1)}{2} (v_1^2 - b^2 v_1^2) = \frac{1}{4}\rho A v_1^3 (1 + b)(1 - b^2) = P$$

$$\frac{dP}{db} = 0 \rightarrow \begin{cases} b = \frac{1}{3} \\ b = -1 \text{ (sin sentido físico)} \end{cases}$$

Por tanto, si sustituimos en las ecuaciones la máxima potencia extraíble es:

$$P = \frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho A v^3$$

$$C_P^{Betz} = \frac{16}{27} \approx 60\%$$

## 1.2 Distribución de Weibull

Para describir la variabilidad en la velocidad del viento se emplea una descripción estadística mediante la distribución de Weibull.

La función de densidad de probabilidad se refleja en la siguiente expresión:

$$f(x; \lambda; k) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, & x \geq 0 \end{cases}$$

*con  $k, \lambda > 0$*

Siendo  $k$  el parámetro de forma (típicamente  $k=2$ ) de la curva y  $\lambda$  ó  $c$  el de escala.

Estos parámetros se calculan en función del mes y la localización, ya que la velocidad media de cada uno es diferente debido a factores estacionales, por ejemplo.

La distribución del viento será una función que tiene como resultado el producto de la curva característica por la distribución de Weibull.

## 1.3 Morfología de un aerogenerador

Los aerogeneradores son máquinas complejas situadas a una cierta altura para un óptimo aprovechamiento de la velocidad del viento, que transforman la energía rotatoria de las palas movidas por el viento en electricidad mediante engranajes transmitiéndola al eje del rotor, normalmente un alternador empleando la ley de Faraday. Para aprovechar el aumento de la velocidad del aire con la altura a la que se sitúa el aerogenerador, llamada altura de buje, es típicamente  $H=0.75D+10\text{m}$ , donde  $D$  es el diámetro de las aspas. La mayoría de los aerogeneradores son de rotor horizontal tripala con cambio de paso, lo que permite cambiar la incidencia de la pala frente al viento. La orientación más comúnmente utilizada es rotor a barlovento. [5]

Debido a la fuerte dependencia con la velocidad del viento, el régimen de operación del aerogenerador está acotado por unos valores mínimos y máximos de la velocidad del viento, llamados velocidad de conexión y de desconexión respectivamente. La velocidad

de conexión es aquella que permite a la turbina empezar a entregar potencia, y es del orden de unos 3-4 m/s. Por debajo de este valor el giro es demasiado lento o inexistente. Conforme la velocidad del viento aumenta la potencia que se entrega también lo hace. A velocidad nominal el rotor trabaja en condiciones de carga idóneas, es decir, entrega la potencia nominal para la cual está dimensionado, una vez ésta se sobrepasa la potencia producida no aumenta, aunque la velocidad del viento lo siga haciendo hasta alcanzar el valor de desconexión. Esto se ve reflejado en la curva de potencia característica de cada aerogenerador. Cuando esto ocurre el rotor corre riesgos estructurales y las vibraciones son muy elevadas, por lo cual debe ser frenado. Este control se realiza principalmente de dos maneras:

- 1- Por cambio de paso: las aspas se orientan en dirección al viento (palas en bandera) para evitar transmitir giro al eje.
- 2- Por pérdida de aerodinámica: se aumenta la resistencia aerodinámica frente al viento evitando así la transmisión del par que hace girar al eje.

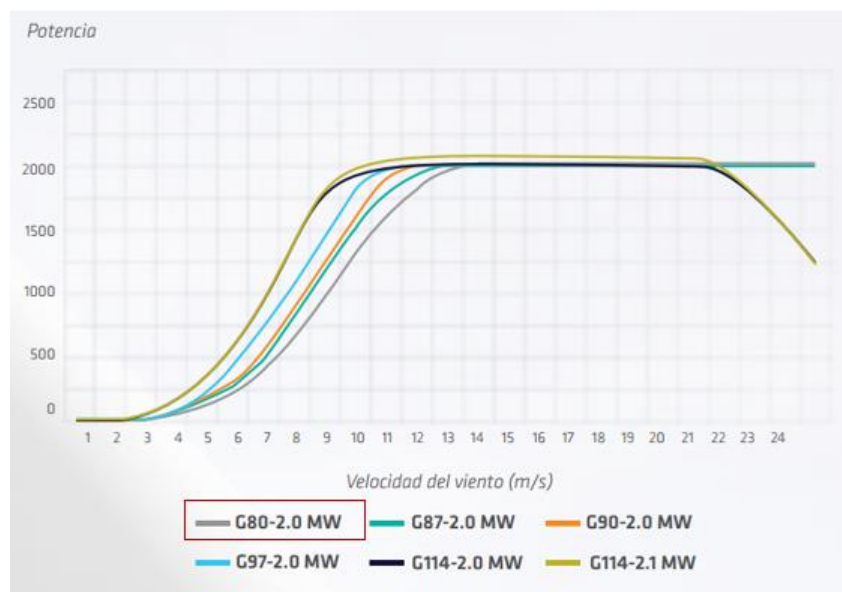


Figura 3 – Curva característica de un aerogenerador.

De la tabla extraemos los datos característicos del aerogenerador:

$$v_{\text{conexión}} = 2.5 \frac{m}{s}; \quad v_{\text{desconexión}} = 24 \frac{m}{s}$$

## 1.4 Rosa de viento

La rosa de viento nos indica la orientación del viento dominante en un emplazamiento dado, esto es, la dirección hacia la cual deberíamos orientar nuestros aerogeneradores para obtener un máximo rendimiento.

En el caso del ejemplo resulta evidente que la orientación ha de ser norte.

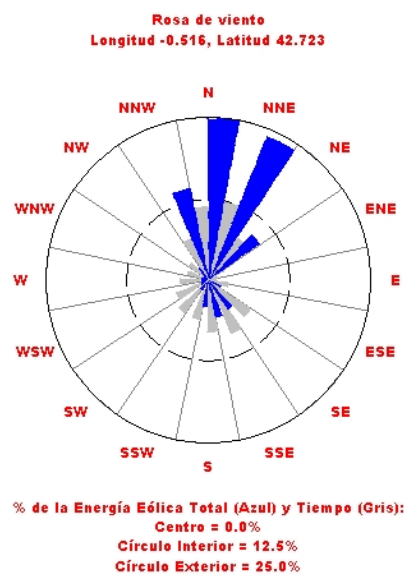


Figura 4 - Ejemplo de rosa de viento ubicada en Guadalajara.  
Ofrecida por IDAE

Se debe tener en cuenta que los rotores a barlovento se deben orientar directamente en dirección al viento dominante, mientras que los rotores a sotavento, al funcionar de forma opuesta deben orientarse en dirección contraria, es decir, en este caso si se tratase de un rotor a sotavento debería orientarse hacia el sur.

## 1.5 Impacto medioambiental

Todas las instalaciones energéticas provocan modificaciones en el medio.

Los parques eólicos influyen principalmente en cuatro aspectos: impacto visual, ruido, impacto sobre la flora e impacto sobre la fauna.

- **Impacto visual:** este aspecto es el más subjetivo de todos, ya que mientras para algunos puede representar algo estético y una imagen de progreso para otros puede suponer contaminación visual que deteriora el paisaje, ya que se suelen colocar en entornos naturales carentes de población.  
Aun así, una vez agotada su vida útil, unos veinticinco años normalmente, si se han tomado medidas para cuidar el terreno este vuelve a quedar como estaba, no dejando residuos a generaciones futuras. De esta forma, dicho impacto solamente afecta a la generación que disfruta de su energía, como cualquier otra instalación.
- **Ruido:** una instalación eólica no emite un ruido muy distinto a cualquier otra productora de energía, a diferencia de que estas están al aire libre. Este ruido puede ser mecánico debido a los engranajes, aerodinámico por la punta de las aspas al girar o eléctrico.
- **Impacto sobre la flora:** el desplazamiento de tierra para la construcción de los cimientos de las torres, carreteras y vías de acceso al parque y el traslado de la electricidad, aspecto que se ha de considerar especialmente en zonas tendientes a la desertización.  
Los aerogeneradores, al tener gran altura, permiten que el suelo que ocupan se destine a otras actividades, como pueden ser las agrícolas o las ganaderas, ya que estas instalaciones ocupan entre en 1 y un 5% del total del territorio (La separación idónea entre aerogeneradores es de 5 a 9 diámetros en dirección al viento y de 3 a 5 diámetros en dirección perpendicular). [6]
- **Impacto sobre la fauna:** es importante que la construcción del parque se haga de manera rápida, ya que de esta forma la fauna vuelve a ocupar el territorio sin inconvenientes.  
El tema que más preocupa a la población son las aves, pero se ha demostrado que no tienden a colisionar con las aspas, siempre y cuando no se trate de una zona que sufra alto tránsito de migraciones de aves, donde se precisa un estudio previo que analice el impacto medio ambiental.

En adición se deben considerar las interferencias electromagnéticas en las señales de telecomunicación, remediables con facilidad mediante discriminadores de frecuencia.

## 1.6 Tecnología Offshore

En España actualmente no hay instalaciones eólicas en el mar u offshore.

Las ventajas de esta tecnología son muy numerosas:

- Debido a la lejanía con las poblaciones se reduce el impacto visual además de poder incrementar las velocidades en la punta de pala sin preocuparse por el ruido emitido.
- La rugosidad es muy baja en comparación con la terrestre y no existen obstáculos que ralenticen la velocidad del viento.
- El mar u océano supone un medio más grande donde poder instalar más aerogeneradores, de mayor diámetro y por tanto de mayor potencia.

Como todas las instalaciones también presentan algunos inconvenientes, ya que de no ser así sería una tecnología mucho más extendida:

- Al estar en medio del mar (a unos 10km de la costa) se trata de una tecnología mucho más cara tanto de instalar como de mantener.
- No se dispone apenas de estructuras que conecten dichas instalaciones offshore con los centros de consumo.
- Limitación en el acceso y dificultad de operación.
- Debido a la baja rugosidad del mar, la estela que produce un aerogenerador sobre el resto es mucho más notable, por lo que la vida útil de las turbinas se reduce notoriamente. Para disminuir este efecto es necesario separar más los aerogeneradores, por lo que la inversión inicial ha de ser mayor.
- En el caso particular de España la costa es muy pronunciada y a dichos 10km la profundidad es superior a 25m, profundidad máxima viable para dichas instalaciones.



*Figura 5 – Aerogeneradores Offshore.*

## 1.7 Aerogenerador genérico

Recabando datos de los distintos parques eólicos españoles advertimos que GAMESA, empresa española de tecnología nacional (solución a dependencia internacional) es la tecnología más utilizada en nuestro país. Adicionalmente observamos que no se utilizan rotores de gran diámetro ni de grandes potencias, por lo que seleccionaremos su modelo G80-2.0MW como referencia. [7]

A continuación, definiremos una medida universal para la energía eólica que se produce en los distintos emplazamientos en los que ubicaremos el parque eólico. Todas las medidas se realizarán con el modelo de referencia anteriormente citado.

$$E_{eólica} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot h_{func} [Wh]$$

Donde:

- $\rho$ : densidad del aire  $1.226 \text{ kg/m}^3$  [8]
- $A$ : área de barrido de las palas  $A = \pi \cdot r^2 [m^2]$
- $v$ : velocidad del viento  $[m/s]$
- $h_{func}$ : horas de funcionamiento anuales  $[h]$

Dependiendo de la velocidad del viento media de cada emplazamiento y asumiendo que los aerogeneradores funcionan todo el año, lo que equivale a 8760h (máximo valor) la energía será:

$$E_{eólica} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot h_{func} \cdot \eta = 0,5 \cdot 1,226 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 40^2 \cdot 8760 \cdot 0,6 \cdot v^3$$

$$E_{eólica} = 32,4 \cdot v^3 [MWh]$$



## 2. Energía solar

La energía solar es aquella energía que se obtiene directamente del sol. Está asociada a las radiaciones emitidas por dicha estrella y que llegan hasta nuestro planeta. Esto es el origen de la vida, que da lugar a los ciclos biológicos de plantas y animales y a los ciclos estacionales.

Este tipo de energía es la más abundante de la Tierra, además de renovable y muy superior en cantidad a toda la energía que se pueda demandar en conjunto de forma global. Según IDAE, a la Tierra llega una cantidad de energía solar equivalente a  $1.7 \times 10^{14}$  kW, lo que equivale a 170 millones de reactores nucleares de 1 GW, es decir, 10000 veces el consumo energético mundial. El sol irradia una media de  $1.367 \text{ W/m}^2$ , lo que se conoce como constante solar, y que es equivalente a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles del mundo. [9]

Desde los orígenes se ha utilizado la energía solar como fuente tanto de luz como de calor. España tiene una situación privilegiada, comprendida entre los 36 y los 40º de latitud norte, además de un clima idóneo debido a su clima seco y soleado en su mayoría, lo cual cumple todos los requisitos fundamentales para un óptimo aprovechamiento de la energía solar.

Existen tres tecnologías fundamentales: la energía solar fotovoltaica, la energía solar de concentración y la energía térmica solar (calefacción y frío solar).

### 2.1 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica consiste en la conversión directa de la luz o energía proveniente del sol en forma de ondas magnéticas en electricidad mediante células solares. No toda la radiación que llega a la tierra alcanza la superficie ya que disminuye debido al fenómeno de la reflexión y la absorción (fundamentalmente por los gases presentes en la atmósfera) y la que consigue alcanzarnos queda difuminada por el aire y la materia particular suspendida.

Las células solares están compuestas por un material semiconductor, normalmente silicio, material muy abundante en la naturaleza. Cuando un fotón incide sobre una célula solar existen varias opciones: se refleja, se transmite o se absorbe cediendo su energía a un electrón del material. Dicho electrón cargado se mueve a través del material hasta que alcanza un contacto selectivo, dejando un hueco tras de sí, o carga positiva. Este electrón avanza por el circuito externo hasta volver a su estado de

equilibrio a través de otro contacto, dando lugar a una fotocorriente. Esta fotocorriente es una corriente continua.

Los materiales semiconductores poseen electrones adheridos débilmente que ocupan lo que se denomina *banda de valencia*. Si la energía que se le aplica a dicho electrón es superior a un determinado valor, el enlace que mantiene el electrón ligado a dicha capa se rompe y éste pasa a una capa superior llamada *banda de conducción*, transmitiéndose al circuito externo.

El haz de luz incidente posee muchos valores diferentes de campo eléctrico, (diferentes longitudes de onda o colores), es decir, muchos valores de energía diferente y por tanto diferentes bandas de valencia. Por esto, la tendencia es utilizar paneles fotovoltaicos compuestos por diferentes materiales (o células multiunión), para así poder aprovechar al máximo todas las bandas de valencia y generar más electricidad. A día de hoy esta es la tecnología más cara y más eficiente: se emplea en el espacio, aunque poco a poco se irá implantando en nuestro planeta.

Las células más utilizadas son las de silicio, tanto monocristalino como policristalino.

-La estructura multicristalina se forma por solidificación de crisoles de gran tamaño (hasta 500kg) y se diferencia del monocristal en que el tamaño del grano es de varios milímetros. Se tiende a la producción creciente de material multicristalino, a pesar de que su eficiencia sea más baja, ya que se esperan reducir los costes. [10]

Otra de las tecnologías que se emplea para formar células fotovoltaicas en la denominada *capa delgada*, que emplea menos material, por lo que abarate mucho el coste de la instalación dando lugar a eficiencias altas.

Independientemente de la tecnología que se utilice, para que el electrón pueda circular por el circuito externo antes de regresar al estado de equilibrio y por tanto poder obtener electricidad es necesario que el material sea muy puro y que estructuralmente sea muy perfecto.

Un sistema fotovoltaico está compuesto por muchos elementos además de las células fotovoltaicas ya descritas, independientemente de que la instalación sea aislada o conectada a red:

- Módulo o panel fotovoltaico: estructura sólida mediante unión de células fotovoltaicas.
- Generador fotovoltaico: conjunto de paneles conectados en serie y paralelo para dar la potencia deseada más los inversores.
- Inversor: como la electricidad que se genera se produce en corriente continua es necesario convertirla a alterna para su aprovechamiento.

### 2.1.1 Producción de las instalaciones fotovoltaicas

La generación fotovoltaica depende de la irradiancia, magnitud que expresa la potencia incidente por unidad de superficie para todo tipo de radiación electromagnética y se mide en  $\text{W/m}^2$ , además de la temperatura.

La producción anual de una instalación fotovoltaica se puede estimar como el producto de la radiación total sobre los paneles por la potencia de pico instalada y por un factor llamado *performance ratio* (PR), o coeficiente de rendimiento, que expresa la relación entre el rendimiento real y el nominal de la instalación y que normalmente se encuentra entre 0.7 y 0.8.

Además de este coeficiente es necesario tener en cuenta otros factores que reducen la producción ideal:

- Tolerancia de potencia de los módulos: no todos los módulos tienen la misma potencia ya que la potencia nominal de estos puede variar desde un -5% hasta un +5%.
- Temperatura: las células pierden potencia por cada grado que la temperatura pasa de  $25^{\circ}\text{C}$ , en torno a un 0,5%. (Factor de temperatura, FT)
- Suciedad en las células: se reduce la irradiancia. (Factor de suciedad, FS)
- Sombras en los módulos: pueden llegar a inhabilitar alguna rama de la instalación. (Factor de sombra, FS)
- Pérdidas en los cables: pérdidas por efecto Joule que se pueden minimizar aumentando la sección del cable y disminuyendo su longitud.
- Incidencia oblicua del sol: el sol al no incidir de forma completamente perpendicular sobre los paneles se producen pérdidas debido a la reflexión de Fresnel. Este efecto se puede amortiguar orientando los paneles en dos ejes para seguir la dirección del sol. (Factor de incidencia, FI)
- Eficiencia del inversor
- Eficiencia del transformador
- Envejecimiento de los equipos
- Pérdidas por operación y mantenimiento: limpiar los cristales o reparar alguna parte de la instalación en caso de fallo.

El rendimiento global de la instalación por tanto será:

$$\eta = \eta_{\text{panel}} \cdot PR \cdot FT \cdot FS \cdot F_{\text{suciedad}} \cdot FI \cdot P_{\text{joule}} \cdot \eta_{\text{inv}}$$

Siendo el rendimiento del panel un 20%, que es el máximo que ofrecen los paneles policristalinos.

### *2.1.2 Ventajas e inconvenientes de la energía solar fotovoltaica*

La energía solar fotovoltaica al igual que es resto de tecnologías posee una serie de ventajas e inconvenientes:

- Ventajas:
  - Energía renovable, inagotable y limpia al no producir emisiones.
  - Silenciosa.
  - Fácilmente amortizable.
  - Se puede aprovechar desde la mayor parte del mundo.
- Inconvenientes:
  - Inversión inicial elevada.
  - Bajo rendimiento, lo que implica un gran espacio para conseguir la misma potencia que con las energías convencionales.
  - Intermitencia, producción dependiente de la meteorología.

### *2.1.2 Panel fotovoltaico genérico*

Analicemos ahora la parte de la ocupación del espacio: como se dijo al comienzo del capítulo la central de ciclo combinado de San Roque (Cádiz) tiene una potencia instalada de 800 MW, ofreciendo 45.43 MWh/m<sup>2</sup>.

Un huerto solar localizado en la provincia de Guadalajara produce 1089 kWh ocupando una superficie de 4618 m<sup>2</sup>: [11]

$$\frac{1089 \text{ MWh}}{4671 \text{ m}^2} = 0,233 \text{ MWh/m}^2$$

Escogeremos un panel Schott Perform Poly 240 en combinación con un inversor Sunny Boy 3600TL.

Definiremos una medida única para la energía solar, que dependiendo del emplazamiento producirá unos valores u otros. Todas las medidas se realizarán con el modelo de referencia anteriormente citado.

$$E_{solar} = S \cdot \phi \cdot t_{sol} \cdot \eta \text{ [Wh]}$$

Donde:

- S: superficie de los paneles [ $m^2$ ]
- $\phi$ : radiación media directa anual [ $W/m^2$ ]
- $t_{sol}$ : horas solares anuales [ $h$ ]
- $\eta$ : rendimiento de la instalación

## 2.2 Energía solar térmica

La energía solar térmica calienta un fluido a través de la radiación solar, normalmente agua o aire.

A pequeña escala es comparable con el experimento de la lupa, que concentra los rayos del sol en un punto. Estos, al proyectarse sobre un papel aumentan la temperatura del papel y provocan que termine ardiendo. En realidad no es necesario que los rayos solares se concentren en un punto para transformar la radiación solar en energía calorífica, como se verá posteriormente.

El funcionamiento de estas instalaciones es bastante simple: se absorbe la energía contenida en la radiación solar y se calienta el fluido que circula por la instalación. Si el fluido es agua, se puede almacenar en un tanque lo más adiabático posible, si por el contrario es aire, se puede hacer circular entre piedras o sales que se calientan y que pueden devolver el calor de nuevo al aire frío.

La energía solar térmica está directamente relacionada con la absorción de la radiación solar: un cuerpo negro absorberá toda la radiación visible mientras que una blanca la reflejará en su totalidad. Por este motivo los captadores solares serán de color prácticamente negro.

La radiación solar debe atravesar la atmósfera terrestre para llegar a la superficie, lo que calienta el mar y la tierra, que al aumentar su temperatura también radian en dirección al exterior, pero en longitudes de onda mayores. Parte de estas ondas vuelve de nuevo a la superficie. Esto se conoce como *efecto invernadero*. El cristal que cubre los

captadores se comporta de manera similar a la atmósfera terrestre, reteniendo dentro de sí la energía calorífica.

### 2.2.1 Componentes de las instalaciones solares térmicas

Los elementos principales que componen este tipo de instalaciones son:

- Captadores solares: combinan el efecto del cuerpo negro con el efecto invernadero. Los captadores planos están recubiertos de una caja cerrada herméticamente donde la cara superior es de cristal y la carcasa normalmente metálica. En el interior se halla la placa absorbidora, de materiales conductores del calor como el aluminio o el cobre, que se dispone en tubos por donde circula el fluido.

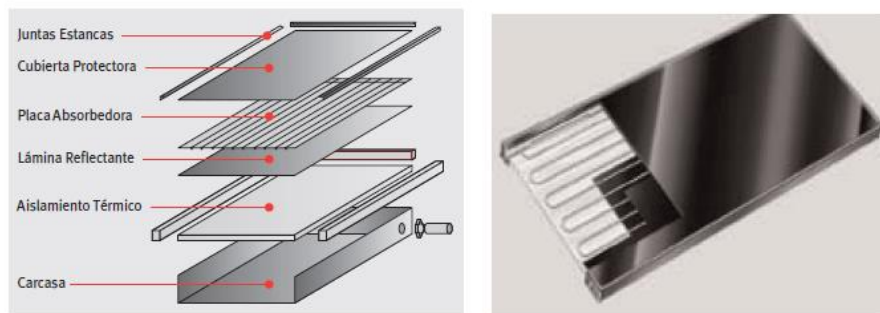


Figura 6 - Morfología de los captadores solares.

También existen los captadores de vacío, en los cuales los tubos están encapsulados en tubos de vacío que permiten el paso de la radiación, pero minimizan las pérdidas.

- Distribución: sistema que transporta el fluido desde los captadores hasta el punto de consumo. Pueden ser de circuito abierto, cerrado, con circulación forzada de agua mediante bombas o con circulación natural (termofisión)
- Almacenamiento: depósitos diseñados, normalmente de forma cilíndrica con relación uno de ancho por dos de alto, para minimizar las pérdidas, ya que el agua caliente al ser menos densa tiende a ascender, evitando así la diferencia de temperatura excesiva entre la parte inferior y la superior del tanque.
- Sistema auxiliar: pueden ser eléctricos, en los que el fluido almacenado se vuelve a calentar mediante el uso de una resistencia o sistemas de gas/gasóleo

convencionales. Estos sistemas son muy útiles ya que normalmente este tipo de instalaciones se diseñan para el calentamiento de agua sanitaria y se dimensionan en torno a un 80%, ya que hacerlo al 100% sería excesivamente caro. Además, entran en funcionamiento en los periodos en los que la radiación es menor o nula.

### *2.2.2 Tecnología*

Existen tres tecnologías dependiendo de la temperatura que alcance el fluido: tecnología de baja temperatura, tecnología de media temperatura y tecnología de alta temperatura.

La tecnología de baja temperatura es la que mayor implantación tiene en la actualidad, suele instalarse en los tejados de los edificios y su uso fundamentalmente consiste en calentar el agua. En esta tecnología, el fluido no supera los 100°C. Se suelen emplear captadores planos.

Otras aplicaciones para esta tecnología son los sistemas de calefacción domésticos o la climatización de piscinas.

La tecnología de media temperatura es aquella que calienta el fluido a partir de los 80°C, por lo que los captadores planos son bastante ineficientes. Es necesario por tanto recurrir a sistemas de concentración mediante lentes.

En las tecnologías de alta temperatura el fluido puede alcanzar hasta 2000°C, por lo que se precisarán de sistemas de concentración muy eficientes.

En ambos casos el fluido caliente, ya sea aire o agua en forma de vapor se emplea para accionar una turbina, convirtiendo el calor en energía mecánica y posteriormente en eléctrica.

Sobre estas dos últimas tecnologías existe un debate abierto, hay gente que las denomina térmicas y otros de concentración. En cualquier caso nosotros las trataremos en profundidad más adelante como energía solar de concentración.

## 2.3 Energía solar de concentración

La energía solar de concentración o la energía solar térmica de concentración tiene como objetivo producir vapor sobrecalentado que sea capaz de accionar los álabes de una turbina conectada a un generador para producir electricidad como si de una central convencional se tratase, a diferencia del combustible fósil.

Este tipo de energía, al igual que la térmica, utiliza la radiación solar directa, es decir, la que no es desviada por las nubes, humo o materia particular suspendida como el polvo.

### 2.3.1 Tecnología

La diferencia principal de esta tecnología con las dos anteriores es que el calor obtenido durante el día se puede emplear por la noche para la producción de electricidad. Este calor comúnmente se almacena en sales fundidas, hormigón, materiales cerámicos o mezclas de sales de fase cambiante.

Los elementos que componen este tipo de instalaciones son:

- Concentradores o espejos
- Receptor
- Sistema de distribución o sistema de almacenamiento
- Sistema de conversión

Dependiendo del tipo de concentradores y receptores que se emplee, existen cuatro tipos de tecnología:

- Sistemas de concentración lineales (o de Fresnel): reflectores prácticamente planos que concentran la energía en un tubo central absorbedor y concentrador. El agua fluye por el receptor o tubo central y pasa a estado de vapor.



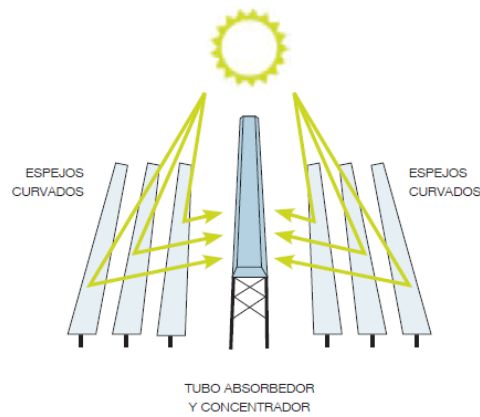


Figura 7 – Esquema del sistema de concentración lineal.

Su aplicación principal consiste en plantas conectadas a red o la generación de vapor para la integración en centrales térmicas convencionales.

- Sistemas de receptor central o torre solar: heliostatos (siguen la incidencia solar) que concentran la luz del sol en un receptor que se encuentra situado en la parte alta de una torre. En esta torre se encuentra un medio de transferencia, normalmente sales, que calientan el agua hasta generar vapor supercalentado (hasta  $1000^{\circ}\text{C}$ ) que acciona la turbina. Si como medio de transferencia empleamos directamente agua o gas, éste puede sustituir directamente al gas natural en los ciclos de Brayton y sustituir los ciclos combinados.

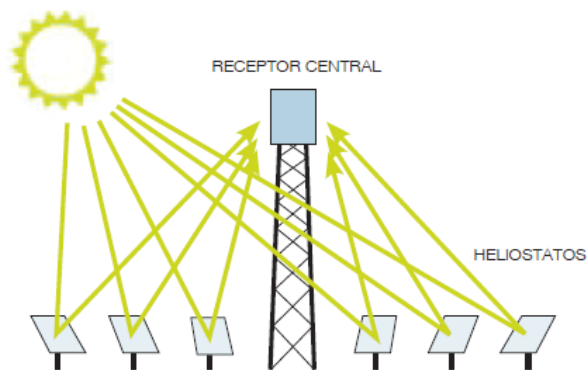
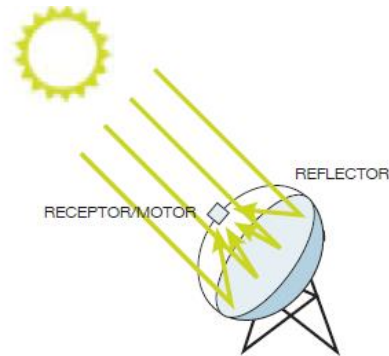


Figura 8 – Esquema del sistema de concentración por torre solar.

Se emplean para plantas conectadas a red donde se precisan procesos de altas temperaturas.

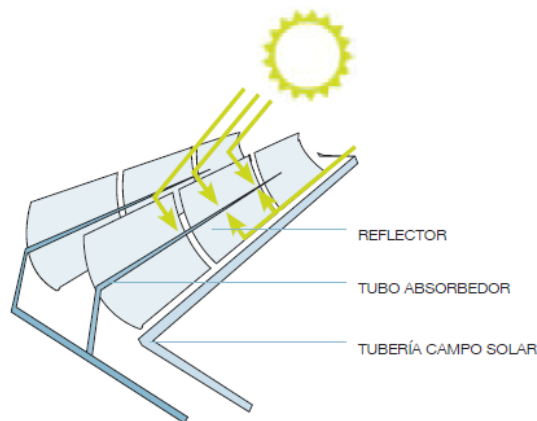
- Sistemas de disco parabólico: los rayos del sol se concentran en el punto focal de un disco que calienta normalmente aire (hasta 750°C). Este aire caliente se introduce en un motor Stirling o en una turbina pequeña.



*Figura 9 – Esquema del sistema de concentración de disco parabólico.*

Se suelen utilizar para pequeñas instalaciones independientes o aisladas.

- Canales parabólicos: reflectores cilíndricos-parabólicos que concentran la radiación en tubos receptores situados en la línea focal de la parábola. Por este tubo circula aceite sintético que puede alcanzar hasta los 400°C. mediante intercambiadores de calor cerrados se genera el vapor supercalentado que acciona las turbinas.



*Figura 10 – Esquema del sistema de canales parabólicos.*

Su aplicación principal es en plantas conectadas a red donde se precisan procesos de media-alta temperatura.

Otros usos son la desalación de agua, calor de proceso u obtención de calor para procesos térmicos industriales de alta temperatura como calderas o esterilizaciones o incluso combustibles solares.

Estos combustibles solares provienen de hidrógenos y existen tres métodos para conseguirlo: procesos electroquímicos, fotoquímicos o termoquímicos.

### 2.3.2 Almacenamiento

Este tipo de tecnología es muy útil en climas muy cálidos, ya que suele coincidir que el momento de más calor del día y por tanto en el que más sistemas de refrigeración se necesitan, también es el momento de mayor radiación solar.

Además, como ya se citó anteriormente, este tipo de energía se puede almacenar para su posterior uso, cosa muy deseable para la industria.

Hay varios sistemas de almacenamiento, aunque principalmente se dividen en directos e indirectos:

- Almacenamiento directo mediante vapor: proporciona entre media y una hora extra a la instalación. El vapor se almacena en recipientes a presión.
- Almacenamiento indirecto con sales fundidas: se emplean dos tanques, uno caliente y otro frío. Las sales circulan del tanque frío al caliente, pasando por el concentrador de calor previamente, que las calienta para cuando se quiera extraer el calor invertir el proceso.
- Almacenamiento indirecto por cambio de fase: tecnología que emplea el punto de fusión/congelación de sales para obtener calor y poder condensar/evaporar el agua para ciclos Rankine.
- Almacenamiento indirecto con hormigón: este hormigón se encuentra entre 400 y 500°C, del que posteriormente se puede extraer el calor.

Debido a la falta de información y a la ciencia tan poco desarrollada que utilizan estas dos últimas tecnologías no las tendremos en consideración a la hora de realizar los cálculos, considerando solo la energía solar fotovoltaica de las tres citadas.

### 3. Mareomotriz

La energía mareomotriz se obtiene del aprovechamiento de las mareas debido a la fuerza de gravitación que ejercen sobre los mares y océanos tanto el Sol como la Luna. Según la ley gravitacional de Newton, la fuerza de atracción que se produce entre dos cuerpos es proporcional a la masa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que hay entre dos cuerpos:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

Por esta razón, el Sol, a pesar de tener una masa 27 millones de veces mayor a la de la Luna, se encuentra unas 390 veces más lejos, por lo que la atracción del agua dependerá en mayor medida de la Luna.

	Masa	Distancia a la Tierra
Luna	$7,35 \cdot 10^{22}$ kg	$3,8 \cdot 10^8$ km
Sol	$2 \cdot 10^{30}$ kg	$1,5 \cdot 10^{11}$ m

*Tabla 1 – Masas y distancia del Sol y la Luna a la Tierra.*

Para el aprovechamiento de esta energía es necesaria la construcción de diques. Éste se llena cuando la marea sube, reteniendo en sí el agua y se vacía cuando la marea baja. La energía potencial obtenida se transforma en energía cinética que mueve los álabes de la turbina, transformándose en energía eléctrica. La diferencia entre pleamar (marea alta) y bajamar (marea baja) suele ser despreciable salvo en ciertos puntos concretos, que puede alcanzar un desnivel de hasta 20 metros, como en la Bahía de Fundy, Canadá.

Existen dos tipos de tecnologías fundamentales: los ciclos elementales de efecto simple y los de efecto doble. Los primeros emplean la energía cinética que se obtiene cuando se vacía el dique (bajamar), cosa que ocurre dos veces al día. Los de efecto doble, por el contrario, aprovechan la energía del agua en ambos sentidos, tanto cuando se llena el dique como cuando se vacía.

La tecnología de las centrales mareomotrices no difiere mucho, en lo que a tecnología se refiere de las centrales hidroeléctricas, la diferencia principal reside en el origen: las centrales mareomotrices utilizan la fuerza gravitacional que ejerce la Luna sobre los mares y océanos y las hidroeléctricas el propio ciclo hidrológico.

España no cuenta con energía mareomotriz aprovechable, por lo tanto no tendremos en cuenta este tipo de energía en nuestro estudio. [12]

## 4. Geotérmica

La energía geotérmica proviene del propio calor que se almacenó dentro de nuestro planeta durante el proceso de formación del mismo y de los elementos atómicos que se desintegran en el núcleo terrestre. A diferencia de la energía solar o la eólica, no presenta problema de intermitencia, ya que esta energía se manifiesta de forma constante.

Para entender este tipo de energía es necesario entender primero cómo es nuestro planeta. Existen dos modelos que lo describen: el modelo geoquímico y el modelo dinámico.

- El modelo geoquímico establece tres capas concéntricas, que de exterior a interior son: la corteza, el manto y el núcleo.

La corteza terrestre es una capa de unos 70 km de espesor máximo compuesta por rocas en estado sólido. Existen dos tipos de corteza, la oceánica formada fundamentalmente por basaltos y ligeramente más densa y la continental que se compone de una gran mezcla de rocas con alto componente de sílice. En el límite de esta capa la temperatura puede alcanzar hasta los 400°C.

Tras la discontinuidad de Mohorovicic se encuentra el manto, capa inmediatamente inferior a la corteza, compuesto por manto superior de densidad igual a 3,3 g/cm<sup>3</sup>, 1500°C y profundidad de 700 km y manto inferior de densidad 5,7 g/cm<sup>3</sup>, 3000°C con profundidad de 2900 km.

El núcleo comienza en la discontinuidad de Gutenberg y se divide a su vez en núcleo externo, hasta 5100 km, 9 g/cm<sup>3</sup> y 4000°C y núcleo interno, con profundidad de 6370 km, igual al radio terrestre, 12 g/cm<sup>3</sup> y 6000°C.

- En el modelo dinámico coexisten cuatro capas diferenciadas: litosfera, astenosfera, mesosfera y endosfera. La litosfera abarca los 100 primeros kilómetros y se trata de una parte puramente sólida, la astenosfera comprende una parte del manto superior, sólida en su mayoría salvo una pequeña parte plástica de profundidad hasta los 250 km, la mesosfera es sólida y comprende todo el resto del manto y por último, la endosfera, se corresponde con el núcleo externo (fluido) e interno (sólido).

Independientemente del modelo al que se atienda, el calor del interior de la tierra al exterior se transmite por conducción:

$$q = K_T \cdot \frac{\Delta T}{z}$$

Donde:

$q$  Es el flujo de calor (W/m<sup>2</sup>)

$K_T$  Es la conductividad térmica característica de cada terreno

$\Delta T$  Diferencia de temperatura entre dos puntos a distintas profundidades en dirección radial

$z$  Distancia entre dichos dos puntos en dirección radial

Para que se de este tipo de energía son necesarios una serie de requisitos:

- Existencia de una fuente de calor: magma situado a una profundidad moderada que transmite calor a las rocas colindantes.
- Agua: ya sea de manera artificial o natural que se calienta por la acción de la fuente de calor.
- Depósito: el agua infiltrada por las rocas permeables llega hasta un depósito que no ha de tener una profundidad elevada ya que debe ser accesible mediante perforaciones para extraer dicha agua o en su defecto vapor.

## 4.1 Tecnología

Actualmente existen cuatro tipos de tecnología para explotar esta fuente: sistemas de conversión directa, expansión súbita de una etapa, expansión súbita de dos etapas y sistemas de ciclo binario.

- Los sistemas de conversión directa emplean aquellos yacimientos en los cuales el vapor seco es predominante. Este vapor sobrecalentado se hace pasar por una turbina acoplada a un generador para generar electricidad directamente.
- Los sistemas de expansión súbita de una etapa son comunes donde existen yacimientos en forma de agua líquida. El agua se expande de forma súbita, ya sea haciéndola ascender hacia la superficie o en un sistema de expansión

artificial, haciendo que descienda drásticamente la presión convirtiéndose así en vapor. Dicho vapor se hace pasar por el cuerpo de turbina.

- En los sistemas de expansión de dos etapas el vapor obtenido en la primera expansión se hace pasar por la turbina de alta presión. El agua en estado líquido restante de la primera expansión, se expande nuevamente y se dirige al segundo cuerpo de turbina o turbina de baja presión, mejorando así el rendimiento del procedimiento anterior.
- Los sistemas de ciclo binario utilizan un segundo fluido con un bajo punto de ebullición a presión atmosférica (isobutano, por ejemplo). Utilizando el calor propio del agua, este fluido se calienta mediante un intercambiador de calor cerrado hasta su ebullición. Ya en estado de vapor, éste pasa por el cuerpo de turbina. Este sistema es ideal para aguas altas en impurezas, ya que al hacer circular un segundo fluido, se evita que estos residuos solidifiquen tanto en las tuberías como en los cuerpos de turbina dañando el sistema.

## 4.2 Aplicaciones

Debido a sus bajos rendimientos en la producción de electricidad, este tipo de energía es más común emplearla para sistemas de calefacción, baños termales, secado de productos (agrícolas normalmente) o precalentamiento de algún fluido empleado en la industria.

Debido a que los focos de calor se suelen localizar en zonas puramente paisajísticas es necesario intentar reducir el impacto de la explotación de este tipo de energía lo máximo posible para no alterar el terreno, la fauna o la flora, ya que se corre riesgo de contaminación de las aguas debido a la reinyección de los fluidos una vez extraído su calor (ya que se ha elevado su concentración en sodio o antimonio), riesgo de hundimiento del terreno si se disminuye violentamente el volumen de las aguas subterráneas y riesgo de erosión al construir los accesos a la instalación, como carreteras.

Además, es necesario que estas instalaciones se encuentren razonablemente cerca de los puntos de consumo, ya que, en un sistema de calefacción, por ejemplo, si el centro de consumo se encontrara muy alejado, al transportar el agua desde el foco caliente las pérdidas serían enormes y no se conseguiría ningún aprovechamiento.

La composición geológica de la península ibérica que apenas cuenta con yacimientos geotérmicos explotables, hace que la posible contribución de este tipo de energía en nuestro estudio sea despreciable. [13]

## 5. Biomasa

Según la Especificación Técnica Europea CEN/TS 14588 la biomasa se define como “todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización”, como pueden ser el carbón o el petróleo.

La biomasa está compuesta por materiales originariamente muy diferentes. Fundamentalmente se divide en dos grandes subgrupos: la biomasa procedente de masa existente o biomasa a implantar.

La biomasa existente procede de desechos forestales u árboles completos, desechos agrícolas, leñosos (ramas de olivo) o herbáceos (cañote de maíz) mientras que la biomasa a implantar, independientemente de ser leñosa o herbácea puede tener como objeto ser destinada a cultivos energéticos exclusivamente o ser compatible con repoblaciones de terrenos u otros fines además del aprovechamiento energético o desechos de animales y humanos.

Entre las especies aptas para la implantación de biomasa destacan por sus propiedades el chopo, ampliamente conocido en nuestro país, los sauces propios de climas fríos y húmedos, eucaliptos y todo el género *Qercus*, al que pertenecen encinas y robles, cuya madera se ha utilizado tradicionalmente para la calefacción de los hogares.

Aunque a primera vista no pueda parecerlo, el uso de biomasa como sustituto de los combustibles fósiles tradicionales evita las emisiones de  $\text{CO}_2$ , ya que no se libera el  $\text{CO}_2$  almacenada por las plantas mediante la fotosíntesis hace de millones de años sino el que pertenece al ciclo actual del  $\text{CO}_2$ .

En su mayoría, la biomasa se utiliza en sistemas de calefacción individuales o edificios, calentamiento de aguas sanitarias en las propias industrias productoras de los desechos agrícolas y forestales para su propia climatización. Su uso en la industria para la producción de electricidad está muy poco desarrollado debido a que normalmente la biomasa se encuentra en terrenos difícilmente accesibles (como montes) y los propios desechos forestales necesitan ser mecanizados (astillados o peletizados) para su transporte. Todos estos factores en adición del bajo rendimiento que presenta esta fuente de energía hacen que a día de hoy no se explote en la industria eléctrica.

Antes de analizar la viabilidad de la biomasa es necesario definir el concepto de poder calorífico: energía que se libera en la combustión de una masa unitaria.

Los combustibles fósiles tienen poderes caloríficos del orden de 40 MJ/kg, salvo el carbón, que de media ronda los 30 MJ/kg, dependiendo de la variedad de este.

Los biocombustibles o biomasa rara vez superan los 20MJ/kg, además, estos biocombustibles, al proceder de seres vivos suelen tener un alto contenido en agua, que



disminuye el rendimiento de la combustión o necesita de un proceso previo para la eliminación de dicha humedad.

Estudiemos el caso del chopo como biomasa, ya que este árbol tiene una gran implantación en España, lo que solucionaría el anterior problema de la dependencia estratégica y no presenta problemas estacionales como el cañote de maíz, que está sujeto a la producción del mismo según la época del año.

Marcos de plantación de chopo para biomasa					
Diámetro ideal de corta en cm	10	11,25	12,25	13,75	15
Número ideal de pies por hectárea	2.603	2.155	1.820	1.562	1.333
Metros cuadrados por pie	3,8	4,6	5,5	6,4	7,5
Marco recomendable en metros	No útil	No útil	2,1 x 2,6	2,3 x 2,8	2,5 x 3

Tabla 2 – Chopo para biomasa. [14]

Atendiendo a esta tabla observamos que un chopo ocupa unos 5,5 m<sup>2</sup> de media. Si España tiene una superficie de 505.990 km<sup>2</sup>, se podrán plantar 91 998 181 chopos (este dato es eminentemente ficticio, ya que el chopo necesita instalarse en zonas cercanas a un río o de regadío artificial y que hay zonas donde es inviable la plantación o crecimiento de esta especie, como los ríos o las cimas de las montañas).

Estimando que este árbol pesa en torno a 400 kg ya que pueden superar alturas de 30 m, que su densidad es de 378 kg/m<sup>3</sup>, y que no se puede aprovechar el 100% de la superficie plantada anualmente sino en torno a un 5%, la masa anual aprovechable de chopo será:

$$91998181 \cdot 400 \cdot 0.05 = 1\,839\,963\,620 \text{ kg}$$

Por tanto, si establecemos que el chopo tiene un poder calorífico igual a 20MJ/kg y en la combustión se obtiene un rendimiento del 30%:

$$Q_{caldera} = \eta \cdot PC \cdot m = 0.3 \cdot 20MJ \cdot 1\,839\,963\,620 = 11\,039\,781\,720 \text{ MJ} = 3066 \text{ MWh}$$

Sabiendo que España consume anualmente 238053 GWh [15], con la biomasa no cubriríamos ni el 0.01% de la demanda total ( $3066\text{M}/238053\text{G}=1,3\cdot 10^{-5}$ ), suponiendo que se plante toda la superficie española, cosa imposible.

Por tanto, no tendremos en cuenta este tipo de energía.

Si realizamos el cálculo de forma inversa ( $1/1,3\cdot 10^{-5}$ ), idealmente, en tan solo un año se consumiría la biomasa que se genera en 77 mil años, es decir, consumimos anualmente lo que las plantas tardan en generar 77mil años.

Con esta simple cuenta podemos observar el problema actual que supone la dependencia en los combustibles fósiles. [16]

## 6. Energía hidráulica

La energía hidráulica es una consecuencia directa de la radiación solar, que forma el ciclo hidrológico del agua: el agua de la superficie se evapora y posteriormente se precipita en forma de lluvia. Esta energía aprovecha la energía potencial del agua asociada a la diferencia de altura existente entre dos puntos para producir electricidad.

$$E_p = m \cdot g \cdot H$$

Siendo:

$m$  Es la masa del agua en kilogramos

$g$  La fuerza de la gravedad ( $9.8 \text{ kg/s}^2$ )

$H$  Diferencia de altura entre dos puntos en metros

El agua que fluye a través de los ríos es retenida mediante la construcción de una presa en la cual se instalan unas compuertas que cuando se abren liberan el agua contenida en la presa convirtiendo la energía potencial en cinética, posteriormente en mecánica al mover los álabes de la turbina y finalmente en eléctrica por esta la turbina acoplada a un generador.

La ecuación de conservación de la energía se describe como:

$$E_{hidráulica} = \eta \rho \dot{Q} g H$$

Donde:

$\eta$  Es el rendimiento de la central

$\rho$  Es la densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$\dot{Q}$  El caudal turbinado en m<sup>3</sup>/s

$g$  La fuerza de la gravedad

$H$  Diferencia de altura entre dos puntos en metros

Como se puede observar, la energía hidráulica está estrechamente relacionada tanto con la altura como con el caudal, por lo que será posible la producción de electricidad a alturas pequeñas pero grandes caudales y a alturas elevadas pero caudales pequeños.

Las centrales de bombeo o acumulación presentan una solución muy favorable a las irregularidades de la demanda, debido a que esta no es uniforme durante el día, sino que tiene horas valle o de bajo consumo y horas punta/pico o de consumo elevado.

Normalmente se utiliza la energía sobrante de otro tipo de centrales, térmicas habitualmente, para bombear el agua desde la parte baja (embalse inferior) hasta la alta (embalse superior) y así poder turbinarla de nuevo cuando exista mucha demanda eléctrica. Esto se conoce como operación en ciclos de bombeo y generación.

Las centrales hidráulicas se clasifican en función de su potencia: centrales de gran potencia (>10 MW), centrales de media potencia (1-10 MW), centrales de pequeña potencia (0.1-1 MW) y microcentrales (<0.1 MW).

## 6.1 Tipos de turbinas

La turbina es el elemento mediante el cual la conversión de energía cinética, o potencial, se transforma en energía mecánica.

Las turbinas están compuestas fundamentalmente por dos partes, una móvil o rotor y una fija llamada estator. Según avance el flujo a través de ambas partes podemos distinguir dos tipos de turbina: de reacción y de impulso.

En las turbinas de reacción el rotor se encuentra totalmente sumergido y la velocidad y la presión son menores a la salida de ésta. Además, la altura en la entrada del rotor suele ser la mitad que la altura total de la que se dispone para el salto. Sin embargo, en las turbinas de impulso, toda la energía potencial contenida en el fluido se transforma previamente en energía cinética y ya después el fluido entra en la turbina.

Las turbinas más comunes en este tipo de instalaciones son:

- Turbina Pelton: turbina de impulso en la que la expansión ocurre en el estator. Estas turbinas se emplean en saltos de gran altura y poco caudal.
- Turbina Francis: turbina de reacción de eje vertical utilizada para un amplio rango de alturas y caudales. Es la más común.
- Turbina Kaplan: turbina de reacción que surge de la necesidad de aprovechar los saltos con alturas pequeñas y caudales medios o altos.

Este tipo de energía es muy diferente a las anteriores, ya que el aprovechamiento de la misma condiciona su explotación aguas debajo de la instalación. Adicionalmente, como ya se dijo en la introducción, España apenas cuenta con ríos caudalosos, por lo que no haremos estimaciones de esta energía y la fijaremos en un 14% del total (según la gráfica 1) y su energía será aprovechable en Aragón, Asturias, Cantabria, Cataluña y Castilla y León (comunidades autónomas donde existen actualmente este tipo de centrales). Asumimos que toda la energía hidráulica ya está explotada.

# Capítulo III

Como ya se mencionó en la introducción de este documento tanto la sociedad como nuestro bienestar, tal y como lo conocemos actualmente, dependen directamente de la energía, esto es: transporte, climatización, iluminación, electrodomésticos, sistemas de información y tecnología, etc.

En este capítulo se analizarán de manera individual todas las necesidades energéticas medias por habitante español.

Según datos del ministerio de España un hogar medio consume al año alrededor de 3487 kWh, lo que significa unos 10 kWh diarios. Según el Ministerio de Fomento en el año 2014 había 25492335 viviendas, si la población de España es de 47 millones de habitantes, una vivienda media está ocupada por 1,84 personas, es decir, dos personas por vivienda, lo que implica, por tanto, un consumo por persona y día de 5 kWh. [17]

Estableceremos esta primera referencia por habitante, aunque se determinará durante el capítulo con mucha más exactitud para posteriormente saber las necesidades energéticas por provincia y comunidad autónoma. Solo se tendrán en cuenta las necesidades individuales, ya que las industriales son un dato conocido, su cálculo es mucho más complejo y nos llevaría mucho tiempo poder realizar una estimación razonable.

La unidad de medida será:

$$E_{consumida} = \frac{kWh}{habitante} \cdot habitante_{total}$$

Utilizaremos como referencia para el cálculo de los consumos el libro que suscitó este trabajo de fin de grado: *Without the hot air*-David JC MacKay. En él se analizan los consumos medios por habitante británico, nosotros extrapolaremos dichos cálculos al ámbito nacional que nos concierne.

Por comodidad, muchos de los datos se presentan en tablas, ya que ofrecen una visión mucho más simple y evidente de los resultados. Se detallan las ecuaciones empleadas para la deducción de los resultados en el Anexo I.

Es importante tener en cuenta que si hay un microondas por casa, por ejemplo, ya que en una misma casa viven dos personas, habrá 0,5 microondas por persona. Lo mismo ocurre con el horno: si se usa una vez por semana en realidad se está utilizando 0,5 veces por persona y por semana.

Todas las estimaciones que se han realizado, tanto las que se corresponden con las tablas como las ecuaciones, son propias y parten de datos razonables del consumo del hogar.

## 1. Necesidades energéticas para transporte

Si hablamos de transporte lo primero que se nos viene a la cabeza es el coche: medio de transporte por excelencia.

El consumo de un coche se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$E_{transporte} = \frac{distancia_{año}}{distancia_{unidad\ fuel}} \cdot energía_{unidad\ fuel}$$

Si analizamos el consumo de gasolina en 2015, vemos que éste fue de 4650 (en miles de toneladas) y el de gasoil 29781. [18]

Para realizar las estimaciones por individuo utilizaremos como sistema de referencia la gasolina, ya que ningún vehículo industrial la emplea.

En la actualidad, el reparto del parque automovilístico español se reparte de tal manera que el 55% de los vehículos de uso particular funcionan mediante diésel y el 45% restante mediante gasolina.

$$Conumo_{gasolina} = \frac{m_{gasolina}}{\rho_{gasolina}} = 4650 \cdot \frac{10^6 kg}{680 kg/m^3} = 6838235,29 m^3 = 6,84 \cdot 10^9 l$$

Este dato representa el consumo de gasolina total en España en el año 2015, esto es, lo que consumieron motos y coches en conjunto. Para poder estimar el consumo de diésel que hicieron los particulares será necesario estimar primero el total de consumo que realizaron los automóviles de gasolina.

Según la Dirección General de Tráfico, en el 2015 había 22355549 turismos en circulación y 3079463 motocicletas.

Al ser el 55% de los vehículos diésel:

$$Coches_{diésel} = 22355549 \cdot 0,55 = 12295552 unidades$$

$$Coches_{gasolina} = 22355549 \cdot 0,45 = 10059997 unidades$$

Ya que todas las motocicletas emplean gasolina como combustible, el total de vehículos que emplean gasolina es de 13139460 unidades.

$$\%_{motos} = \frac{3079463}{13139460} = 23,44\%$$

$$\%_{coches_{gasolina}} = \frac{10059997}{13139460} = 76,56\%$$

Es decir, el consumo que produjeron los coches de gasolina en 2015 fue de:

$$Conumo_{coches_{gasolina}} = Consumo_{gasolina} \cdot 0.7656 = 6.84 \cdot 10^9 \cdot 0.7656 = 5.24 \cdot 10^9 l$$

Y por tanto el del diésel para uso particular:

$$\text{Consumo}_{\text{coches diésel}} = \text{Consumo}_{\text{coches gasolina}} \cdot \frac{0.55}{0.45} = 5.24 \cdot 10^9 \cdot \frac{0.55}{0.45} = 6.4 \cdot 10^9 \text{ l}$$

Y las motos:

$$\text{Consumo}_{\text{motos}} = \text{Consumo}_{\text{gasolina}} \cdot 0.2344 = 6.84 \cdot 10^9 \cdot 0.2344 = 1.6 \cdot 10^9 \text{ l}$$

Un turismo medio gasolina consume 6,9 l/100 km, un diésel 5,9 l/100 km [19] y una moto gasolina 2,48l /100km [20]. Con estos datos estimaremos la distancia que puede recorrer un particular en España.

$$km_{\text{diésel}} = \frac{6,4 \cdot 10^9 \text{ l}}{5,9 \text{ l} / 100 \text{ km}} = 1,1 \cdot 10^{11} \text{ km}$$

$$km_{\text{coche gasolina}} = \frac{5.24 \cdot 10^9 \text{ l}}{6,9 \text{ l} / 100 \text{ km}} = 7,6 \cdot 10^{10} \text{ km}$$

$$km_{\text{moto}} = \frac{1.6 \cdot 10^9 \text{ l}}{2,48 \text{ l} / 100 \text{ km}} = 3,57 \cdot 10^{11} \text{ km}$$

$$km_{\text{totales}} = km_{\text{diésel}} + km_{\text{coche gasolina}} + km_{\text{moto}} = 22,17 \cdot 10^{10} \text{ km}$$

Si España tiene una población de unos 47 millones de habitantes, un habitante medio recorrerá una distancia anual de:

$$d_{\text{media}} = \frac{22,17 \cdot 10^{10}}{47 \cdot 10^6} = 4717 \frac{\text{km}}{\text{habitante}}$$



David JC MacKay estima que independientemente de si el combustible es diésel o gasolina, al pertenecer ambos a la familia de los hidrocarburos el valor calorífico contenido en ellos será de 8 kWh/kg. Como el aceite es menos denso que el agua, supondremos la densidad media de ambos en 0.8 kg/l. Este dato no se distancia mucho con la realidad, ya que la gasolina posee una densidad de 680 kg/m<sup>3</sup> y el diésel 832 kg/m<sup>3</sup>.

$$8 \frac{kWh}{kg} \cdot 0,8 \frac{kg}{l} = 6,4 \frac{kWh}{l}$$

Atendiendo a los datos de consumo anteriores de la gasolina y el diésel estimaremos un consumo medio de 6.5l/100 km, es decir, por cada litro de combustible podremos desplazarnos unos 15 km.

$$E_{transporte} = \frac{distancia_{año}}{distancia_{unidad\ fuel}} \cdot energía_{unidad\ fuel} = \frac{4717\ km}{15\ km/l} \cdot 6,4 \frac{kWh}{l} = 2011,31\ kWh\ anuales$$

Volviendo a nuestro libro de referencia, observamos que MacKay afirma que un habitante británico realiza un viaje intercontinental por año. En España esta cifra será mucho menor.

El PIB de Inglaterra en 2016 fue de 2,619 billones de USD, mientras que el nuestro se cifró en 1,232 billones de USD, esto es que el PIB de España es 0,47 veces el de Inglaterra, por lo que un habitante español realizará 0,47 viajes intercontinentales en un año.

Un Boeing747-400 con 240000 litros de combustible transporta 416 pasajeros a 14200 km. Hemos estimado el poder calorífico del combustible en 6.4 kWh/l, por lo tanto:

$$E_{avión} = \frac{2 \cdot 240000l}{416\ pasajeros} \cdot 6,4 \frac{kWh}{l} \cdot 0,47 = 3470,8 \frac{kWh}{pasajero}$$

Es decir, se consume menos del doble que en un coche y recorremos una distancia tres veces superior: el avión es un medio de transporte mucho más eficiente.

## 2. Climatización

Tanto la climatización del ambiente como el calentamiento del agua forman uno de los pilares básicos para nuestro bienestar y confort.

En este apartado se detallará el consumo que supone el controlar la temperatura de nuestro entorno, la del agua sanitaria y la de los alimentos que consumimos.

Supondremos además que cada persona necesita 30 m<sup>2</sup> para vivir, es decir, un hogar medio de dos personas tendrá unos 60 m<sup>2</sup>.

### 2.1 Calentamiento de agua doméstica

La mayor parte de este consumo está destinado a baños, duchas, lavavajillas y lavadoras.

El calor que se precisa para tomar una ducha caliente se rige por la siguiente ecuación:

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T = \rho \cdot v \cdot C \cdot \Delta T$$

Donde:

$\rho$  Es la densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$v$  Volumen de agua empleado en m<sup>3</sup>

$C$  El calor específico (4180 J/kgK)

$\Delta T$  Diferencia de temperatura del agua

Si una ducha caliente se toma a 40°C y el agua entrante se encuentra a 15°C aproximadamente:

$$Q = 1000 \cdot 0,03 \cdot 4180 \cdot (40 - 15) = 3135000 \text{ J} = 0,87 \text{ kWh}$$

Si una persona se ducha diariamente el consumo anual será de:

$$E_{ducha} = 0,87 \cdot 365 = 317,55 \text{ kWh anuales}$$

Los lavavajillas modernos tienen potencias de alrededor de 2000 W y consumen unos 10 litros de agua por ciclo. Este último dato es informativo ya que el consumo que se realiza al calentar el agua ya está considerado en los 2000 W.

Si estimamos que hay un lavavajillas por vivienda de dos personas y se pone una vez cada tres días, o 122 días al año:

$$E_{\text{lavavajillas}} = 2000 \text{ W} \cdot 0,5 \frac{\text{aparatos}}{\text{persona}} \cdot \frac{2 \text{ h}}{\text{uso}} \cdot 122 \text{ días} = 244 \text{ kWh anuales}$$

Supongamos ahora que un lavavajillas y una lavadora consumen lo mismo (2000 W). Una vivienda (2 personas) pondrá 3 lavadoras semanales, es decir, 122 veces al año. Seguramente este dato será superior, al igual que el lavavajillas pero recordemos que no todas las casas disponen de ellos.

Si un ciclo dura 2 horas:

$$E_{\text{lavadora}} = 2000 \text{ W} \cdot 0,5 \frac{\text{aparatos}}{\text{persona}} \cdot 2 \text{ h} \cdot 122 \text{ días} = 244 \text{ kWh anuales}$$

El total será:

$$E_{\text{agua}} = E_{\text{ducha}} + E_{\text{lavavajillas}} + E_{\text{lavadora}} = 1102,69 \text{ kWh anuales}$$

## 2.2 Calentamiento/enfriamiento de alimentos

Atendiendo al procedimiento anterior, se ha calculado el consumo de los electrodomésticos mediante potencias medias, que se emplean para enfriar/calentar alimentos por persona:

Aparato	W	Aparatos /persona	h/ciclo	Usos/ día	Usos/ semana	Usos/ año	kWh año
Microondas	800	0.5	0.033	2		730	9.636
Nevera+congelador	80	0.5	24	1		365	450.4
Fogón Vitrocerámica	750	0.5	0.25	2		730	68,4375
Tostadora	600	0.5	0.033	1		365	3.6135
Horno	3000	0.5	1.5		0.5	26	58.5
<b>Total</b>							<b>490</b>

Tabla 3 – Consumo por calentar/enfriar alimentos.

Nota: si se mira la potencia de una nevera será muy superior, pero en arranque, al mantener la temperatura una vez alcanzada la deseada tiene un consumo muy bajo.

$$E_{alimentos_{total}} = 490 \text{ kWh anuales}$$

## 2.3 Calefacción/Aire acondicionado

La necesidad de calentar o enfriar nuestros hogares radica en la diferencia de temperatura que existe entre el interior de la vivienda y el exterior.

Si una vez hubiéramos alcanzado la temperatura deseada el calor no se disipara a través de suelo, paredes o ventanas, no sería necesario volver a regular su temperatura ya que siempre nos encontraríamos a la temperatura de confort. Estas temperaturas son 21°C en invierno y 26°C en verano.

Las temperaturas medias en España se describen en la siguiente tabla:

01/17	02/17	03/17	04/17	05/17	06/17	07/16	08/16	09/16	10/16	11/16	12/16
6.7°C	10.2°C	12.2°C	14.9°C	19°C	24.1°C	25.5°C	25.2°C	20.1°C	17.4°C	10.8°C	8.6°C

Tabla 4 – Temperaturas medias en España. Datos Aemet. [21]

Atendiendo a esta tabla será necesario emplear la calefacción durante los meses de Septiembre a Mayo. Como ya sabemos, la temperatura media no se corresponde con

las máximas o mínimas: sufre variaciones entre el día y la noche. Estas variaciones son menos bruscas sobretodo en invierno, donde la diferencia de temperatura entre el día y la noche puede ser de menos de 10°C. En verano la diferencia de temperatura es algo mayor, alrededor de unos 15°C, alcanzando los 35°C por el día (de media en España) y disminuyendo a 20°C durante la noche.

Durante el otoño y la primavera la diferencia de temperatura puede ser muy elevada entre ambos periodos, ya que por el día se pueden alcanzar temperaturas completamente veraniegas y por la noche bajar la temperatura hasta 20°C.

De acuerdo a este razonamiento emplearemos la calefacción durante los meses de Octubre a Abril y el aire acondicionado durante Julio y Agosto.

Los datos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo indican que los hogares españoles consumen 4418 GWh en calefacción al año. Se debe tener en cuenta que solamente una pequeña proporción cuenta con calefacción eléctrica. Estimaremos esta proporción en un 10%, es decir, si todos los hogares utilizáramos calefacción eléctrica al año consumiríamos 4418 GWh en calefacción. Esto se traduce en un consumo por persona de:

$$E_{calefacción} = \frac{44180 \text{ GWh}}{47 \cdot 10^6 \text{ personas}} = 940 \text{ kWh anuales por hogar}$$

Si un hogar español medio está compuesto por dos personas, cada una de ellas consumirá 470 kWh anuales.

Por simplicidad asumiremos que la calefacción y el aire acondicionado consumen lo mismo. La calefacción funciona 7 meses al año y el aire acondicionado 2:

$$E_{aire\text{acondicionado}} = 470 \text{ kWh} \cdot \frac{2}{7} = 134 \text{ kWh}$$

Por lo tanto, el consumo que se emplea en la climatización del hogar por persona será:

$$E_{climatización} = E_{calefacción} + E_{aire\text{acondicionado}} = 604 \text{ kWh año}$$

### 3. Consumo general doméstico

En este apartado se considerarán los elementos relacionados con los sistemas de información y los electrodomésticos que no se consideraron en el apartado 2.2, es decir, los que no están relacionados con la temperatura.

La metodología será la misma que en dicho apartado, estimando la potencia media de cada aparato multiplicándola después por el tiempo que está encendido. No tendremos en cuenta los consumos en stand-by, ya que en comparación con el resto, anualmente son insignificantes.

Aparato	Aparatos/persona	W	h/día	kWh año
Router	0.5	20	24	87.6
Televisión	0.5	300	2	109.5
Equipo música	0.5	200	0.25	9.13
Máquina Afeitar	0.5	80	0.25	3.65
Teléfono fijo	0,5	25	24	109.5
Cargador móvil	1,5	5	6	16.43
Aspiradora	0,5	400	0.2	14.6
Ordenador	1	200	2	146
Impresora+scanner	0,5	30	0.25	1.37
Campana extractora	0,5	150	0.5	13.69
Plancha	0,5	1500	0.5	136.87
Tostadora	0,5	800	0.1	14.6
			<b>Total</b>	<b>662.93</b>

Tabla 5 – Consumo general doméstico.

$$E_{general_{hogar}} = 662,93 \text{ kWh anuales}$$

## 4. Iluminación del hogar

Si anteriormente supusimos que en una vivienda cohabitan dos personas y que cada una de ellas necesita 30 m<sup>2</sup>, será lógico suponer que una casa de 60m<sup>2</sup> tenga dos dormitorios y un baño, además de salón y cocina.

Estancia	W	Aparatos/persona	h/día	kWh año
<b>Salón</b>				
Lámpara general	150	0.5	3	82.13
Lámpara pie	50	0.5	1	9.125
<b>Cocina</b>				
General	26	0.5	2	9.49
Cocina	20	0.5	1	3.65
<b>Baño</b>				
General	40	0.5	1	7,3
Espejo	20	0.5	0.5	1.825
<b>Dormitorio1</b>				
General	40	0.5	0.5	3.65
Mesilla	10	1	0.5	1.825
<b>Dormitorio2</b>				
General	40	0.5	0.5	3.65
Mesilla	10	1	0.5	1.825
<b>Total</b>				<b>124.5</b>

Tabla 6 –Consumo iluminación del hogar.

$$E_{iluminación} = 124,5 \text{ kWh anuales}$$

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los consumos medios por persona:

<b>Balance consumo</b>	<b>kWh</b>
Agua doméstica	1102.69
Alimentos	490
Calefacción/AC	604
Consumo general	662.93
Iluminación	124.5
<b>Total</b>	<b>2984.12</b>
<b>kWh/día</b>	<b>8.18</b>
Coche	2011.31
Avión	3470.8
<b>Total incluyendo transporte</b>	<b>8466.23</b>
<b>kWh/día</b>	<b>23.2</b>

*Tabla 7 – Balance de consumos por persona.*

Como se puede apreciar, si no se tiene en consideración el gasto energético que supone el transporte por persona se realizaría un consumo medio de 8 kWh diarios.

Este dato no difiere mucho de los 5 kWh mencionados anteriormente, ya que no todas las casas están ocupadas y se está incluyendo el gasto de calefacción y calentamiento del agua doméstica para los cuales la mayoría de hogares emplean gas natural.



## 5. Resumen de consumos

La siguiente tabla resume los consumos por provincia y Comunidad Autónoma totales a lo largo de un año, sin incluir el transporte (GWh consumidos) e incluyéndolo (GWh consumidos (tte. Incl.))

CA/Provincia	Habitantes	GWh consumidos	GWh consumidos (tte. Incl.)	Superficie (km2)
<b>Galicia</b>	<b>2,718,525</b>	<b>8,117</b>	<b>23,020</b>	<b>29,573</b>
La Coruña	1,122,799	3,352	9,508	7,950
Lugo	336,527	1,005	2,850	9,856
Pontevedra	944,346	2,820	7,997	4,494
Ourense	314,853	940	2,666	7,273
<b>Principado de Asturias</b>	<b>1,042,608</b>	<b>3,113</b>	<b>8,829</b>	<b>10,603</b>
Asturias	1,042,608	3,113	8,829	10,603
<b>Cantabria</b>	<b>582,206</b>	<b>1,738</b>	<b>4,930</b>	<b>5,321</b>
Cantabria	582,206	1,738	4,930	5,321
<b>País Vasco</b>	<b>2,189,534</b>	<b>6,537</b>	<b>18,541</b>	<b>7,251</b>
Vizcaya	1,147,576	3,426	9,718	2,217
Guipúzcoa	717,832	2,143	6,079	1,997
Álava	324,126	968	2,745	3,037
<b>Navarra</b>	<b>640,647</b>	<b>1,913</b>	<b>5,425</b>	<b>10,391</b>
Navarra	640,647	1,913	5,425	10,391
<b>Aragón</b>	<b>1,308,563</b>	<b>3,907</b>	<b>11,081</b>	<b>47,719</b>
Huesca	221,079	660	1,872	15,636
Zaragoza	950,507	2,838	8,049	17,274
Teruel	136,977	409	1,160	14,809
<b>Cataluña</b>	<b>7,522,596</b>	<b>22,460</b>	<b>63,701</b>	<b>32,116</b>
Lérida	434,041	1,296	3,675	12,172
Gerona	753,576	2,250	6,381	5,909
Tarragona	792,299	2,366	6,709	6,302
Barcelona	5,542,680	16,549	46,935	7,733
<b>Castilla y León</b>	<b>2,447,519</b>	<b>7,308</b>	<b>20,726</b>	<b>93,950</b>
León	473,604	1,414	4,010	15,580
Palencia	164,644	492	1,394	8,052
Burgos	360,995	1,078	3,057	14,022
Zamora	180,406	539	1,528	10,561
Valladolid	523,679	1,564	4,435	8,110
Soria	90,040	269	762	10,306
Segovia	155,652	465	1,318	6,920
Salamanca	335,985	1,003	2,845	12,349
Ávila	162,514	485	1,376	8,050

CA/Provincia	Habitantes	GWh consumidos	GWh consumidos (tte. Incl.)	Superficie (km2)
<b>La Rioja</b>	<b>315,794</b>	<b>943</b>	<b>2,674</b>	<b>5,045</b>
La Rioja	315,794	943	2,674	5,045
<b>Castilla la Mancha</b>	<b>2,041,631</b>	<b>6,096</b>	<b>17,289</b>	<b>79,462</b>
Guadalajara	252,882	755	2,141	12,214
Cuenca	201,071	600	1,703	17,140
Albacete	392,118	1,171	3,320	14,926
Toledo	688,672	2,056	5,832	15,369
Ciudad Real	506,888	1,513	4,292	19,813
<b>Comunidad de Madrid</b>	<b>6,466,996</b>	<b>19,309</b>	<b>54,763</b>	<b>8,028</b>
Madrid	6,466,996	19,309	54,763	8,028
<b>Extremadura</b>	<b>1,087,778</b>	<b>3,248</b>	<b>9,211</b>	<b>36,692</b>
Cáceres	403,665	1,205	3,418	14,926
Badajoz	684,113	2,043	5,793	21,766
<b>Comunidad Valenciana</b>	<b>4,959,968</b>	<b>14,809</b>	<b>42,001</b>	<b>23,260</b>
Castellón	579,245	1,729	4,905	6,636
Valencia	2,544,264	7,596	21,545	10,807
Alicante	1,836,459	5,483	15,551	5,817
<b>Andalucía</b>	<b>8,388,107</b>	<b>25,044</b>	<b>71,030</b>	<b>87,597</b>
Jaén	648,250	1,935	5,489	13,496
Málaga	1,629,298	4,865	13,797	7,306
Sevilla	1,939,775	5,792	16,426	14,036
Granada	915,392	2,733	7,752	12,646
Cádiz	1,239,889	3,702	10,499	7,440
Almería	704,297	2,103	5,964	8,775
Córdoba	791,610	2,364	6,703	13,771
Huelva	519,596	1,551	4,400	10,127
<b>Región de Murcia</b>	<b>1,464,847</b>	<b>4,374</b>	<b>12,404</b>	<b>11,313</b>
Murcia	1,464,847	4,374	12,404	11,313
<b>Total España</b>	<b>43,177,319</b>	<b>128,915</b>	<b>365,626</b>	<b>488,321</b>

Tabla 8 – Resultado resumen de consumos.

# Capítulo IV

Resulta evidente afirmar que el aprovechamiento de la energía, y más la renovable, depende del espacio en la que se pueda explotar.

En este capítulo estudiaremos todas las opciones de explotación del espacio por comunidad autónoma y provincia, focalizándonos en la energía eólica y la solar fotovoltaica.

Nuevamente los resultados obtenidos se presentarán en tablas para tener una primera visión rápida y clara. Por supuesto, no aparecerán todas las columnas que sean irrelevantes en cuanto a información se refiere, ya que esto emborronaría nuestra perspectiva sobre los datos. Se pueden consultar las tablas completas en el ANEXO II. Todas las ecuaciones empleadas se detallan en el ANEXO I de este documento.

Como para cualquier fuente de energía que se quiera implantar, es necesario conocer primero la superficie de la que se dispone, ya que sería descabellado plantear la colocación de un aerogenerador, por ejemplo, en la Plaza del Ayuntamiento de cualquier municipio.

A falta de datos por provincia, utilizaremos datos por Comunidades Autónomas, suponiendo que todas las provincias de una misma Comunidad Autónoma presentan el mismo porcentaje de superficie artificial. La superficie artificial comprende: [22]

- Tejido urbano continuo: más del 80% del suelo cubierto por estructuras y red de transporte.
- Estructura urbana laxa: edificación abierta como calles arboladas y/o pequeños parques.
- Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas: zonas de primera o segunda residencia con espacios verdes.
- Zonas industriales o comerciales: zonas alquitranadas sin espacios verdes.
- Autopistas, autovías y terrenos asociados
- Complejos ferroviarios
- Zonas portuarias
- Aeropuertos: pistas y terrenos asociados.
- Zonas de extracción minera: a cielo abierto.
- Escombreras y vertederos
- Zonas en construcción
- Zonas verdes urbanas: áreas con vegetación dentro de zonas urbanas.
- Instalaciones deportivas y recreativas

La superficie disponible será aquella cuyo resultado sea la resta de la superficie total menos la superficie artificial. Esta última ha de ser ajustada, ya que los datos nos ofrecen información acerca del año 2000. Según el periódico el País *“el suelo edificado ha crecido un 40% en los últimos 18 años”* [23]

De este cálculo podremos obtener dos resultados:

- La autosuficiencia no es posible aun aprovechando toda la superficie no artificial.
- La autosuficiencia es viable. En este punto será necesario realizar consideraciones adicionales, ya que toda la superficie no artificial no puede emplearse para el aprovechamiento energético. Estas zonas son:
  - Zonas agrícolas: de secano o regadío
  - Zonas forestales y espacios abiertos: pinares, zonas de matorral, playa, arenales, acantilados...
  - Superficies húmedas: zonas con tendencia a la inundación por agua dulce o salada (hasta 30cm de profundidad de agua) donde habitan plantas pequeñas o musgos y zonas fangosas
  - Superficies de agua: ríos, embalses...

A este resultado se le llama superficie real aprovechable, que como veremos a continuación difiere para cada tipo de energía.

# 1. Potencial eólico

El potencial eólico se estimará teniendo en cuenta una separación de 6 diámetros de rotor en dirección del viento dominante y 3 en dirección perpendicular (de centro a centro de rotor). Como se citó anteriormente la separación podría ser mayor, y de hecho debería serlo para poder aprovechar mejor la energía cinética del viento, pero por cuestiones económicas las empresas tienden a instalar la mayor potencia posible en la mínima cantidad de terreno.

Supongamos un terreno de 11 diámetros de largo por 12 de ancho. La distribución de los aerogeneradores será de:

X					X					X
		X					X			
X					X					X
		X					X			
X					X					X
		X					X			

Figura 11 – Esquema de distribución de los aerogeneradores en un parque eólico.

Es decir en 11x12 diámetros podremos implantar 15 aerogeneradores:

$$\%ocupación = \frac{15}{11 \cdot 12} = 11,36 \%$$

Si cada aerogenerador ocupa una superficie de 100 por 100m o 0.01 km2, los aerogeneradores que podremos instalar por provincia serán:

$$N^{\circ}_{aerogeneradores} = Superficie_{disponible_{2017P}} \cdot \frac{0,11}{0,01}$$

Supondremos los aerogeneradores funcionando 24 horas al día, ya que trabajamos con vientos medios, lo que implica 8760 horas anuales:

$$24 \frac{h}{día} \cdot 365 \text{ días} = 8760 \text{ h anuales}$$

Sustituyendo en las fórmulas descritas en el Capítulo II obtendremos nuestros resultados.

$$E_{eólica} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot h_{func} \cdot \eta = 0,5 \cdot 1,226 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 40^2 \cdot 8760 \cdot 0,6 \cdot v^3$$

$$E_{eólica} = 32,4 \cdot v^3 [MWh]$$

Los datos de los vientos medios provienen de la selección de una estación meteorológica de cada provincia, normalmente la del aeropuerto, para después obtener su media anual [24]. Se pueden consultar en detalle en el Anexo III.

Como se puede ver en el Anexo II el sorprendente resultado indica que todas las provincias pueden ser autosuficientes mediante energía eólica, por tanto:

- Zonas agrícolas: aprovecharemos el 50%
- Zonas forestales y espacios abiertos: aprovecharemos el 50%
- Superficies húmedas: aprovecharemos el 100% de la superficie, ya que 30 cm de agua estacional no supone el no aprovechamiento eólico.
- Superficies de agua: no se aprovechará este espacio.

Se detalla a continuación la tabla con los resultados obtenidos, para más información consultar Anexo I y Anexo II.

CA/Provincia	GWh consumidos (tte. Incl.)	Superficie real aprovechable eólica (km2)	Nº aerog.superficie real	Viento medio (m/s)	E_eol anual (GWh)	E_eol anual/G Wh cons (tte incl.)
<b>Galicia</b>	<b>23,020</b>	<b>14,175.82</b>	<b>155,934</b>		<b>76,606</b>	<b>3.33</b>
La Coruña	9,508	3,816.00	41,976	3.30	48,973	5.15
Lugo	2,850	4,730.88	52,040	2.11	15,836	5.56
Pontevedra	7,997	2,157.12	23,728	2.01	6,256	0.78
Ourense	2,666	3,491.04	38,401	1.65	5,541	2.08
<b>Principado de Asturias</b>	<b>8,829</b>	<b>5,099.97</b>	<b>56,100</b>		<b>54,497</b>	<b>6.17</b>
Asturias	8,829	5,089.44	55,984	3.11	54,497	6.17
<b>Cantabria</b>	<b>4,930</b>	<b>2,501.74</b>	<b>27,519</b>		<b>30,880</b>	<b>6.26</b>
Cantabria	4,930	2,500.87	27,510	3.26	30,880	6.26
<b>País Vasco</b>	<b>18,541</b>	<b>3,369.43</b>	<b>37,064</b>		<b>42,687</b>	<b>2.30</b>
Vizcaya	9,718	1,019.82	11,218	2.93	9,167	0.94
Guipúzcoa	6,079	918.62	10,105	4.03	21,483	3.53
Álava	2,745	1,397.02	15,367	2.89	12,037	4.39
<b>Navarra</b>	<b>5,425</b>	<b>5,073.50</b>	<b>55,809</b>		<b>78,169</b>	<b>14.41</b>
Navarra	5,425	5,091.59	56,007	3.51	78,169	14.41
<b>Aragón</b>	<b>11,081</b>	<b>23,339.55</b>	<b>256,735</b>		<b>465,421</b>	<b>42.00</b>
Huesca	1,872	7,661.64	84,278	4.12	191,269	102.17
Zaragoza	8,049	8,464.26	93,107	4.44	263,262	32.71
Teruel	1,160	7,256.41	79,821	1.61	10,890	9.39
<b>Cataluña</b>	<b>63,701</b>	<b>14,544.80</b>	<b>159,993</b>		<b>148,516</b>	<b>2.33</b>
Lérida	3,675	5,477.40	60,251	1.76	10,668	2.90
Gerona	6,381	2,659.05	29,250	2.48	14,517	2.27
Tarragona	6,709	2,835.90	31,195	2.79	21,967	3.27
Barcelona	46,935	3,479.85	38,278	4.34	101,364	2.16
<b>Castilla y León</b>	<b>20,726</b>	<b>45,576.41</b>	<b>501,341</b>		<b>707,968</b>	<b>34.16</b>
León	4,010	7,634.20	83,976	3.27	95,267	23.75
Palencia	1,394	3,945.48	43,400	5.53	237,402	170.28
Burgos	3,057	6,870.78	75,579	4.07	165,376	54.10
Zamora	1,528	5,174.89	56,924	2.02	15,097	9.88
Valladolid	4,435	3,973.90	43,713	2.90	34,542	7.79
Soria	762	5,049.94	55,549	2.71	35,967	47.17
Segovia	1,318	3,390.80	37,299	3.08	35,270	26.76
Salamanca	2,845	6,051.01	66,561	2.99	57,766	20.30
Ávila	1,376	3,944.50	43,390	2.81	31,279	22.73
<b>La Rioja</b>	<b>2,674</b>	<b>2,447.53</b>	<b>26,923</b>		<b>17,891</b>	<b>6.69</b>
La Rioja	2,674	2,472.05	27,193	2.73	17,891	6.69

CA/Provincia	GWh consumidos (tte. Incl.)	Superficie real aprovechable eólica (km2)	Nº aerog.superficie real	Viento medio (m/s)	E_eol anual (GWh)	E_eol anual/G Wh cons (tte incl.)
<b>Castilla la Mancha</b>	<b>17,289</b>	<b>38,852.46</b>	<b>427,377</b>		<b>298,270</b>	<b>17.25</b>
Guadalajara	2,141	5,984.86	65,833	2.28	25,123	11.73
Cuenca	1,703	8,398.60	92,385	1.97	22,794	13.39
Albacete	3,320	7,313.74	80,451	3.52	113,553	34.20
Toledo	5,832	7,530.81	82,839	3.22	89,814	15.40
Ciudad Real	4,292	9,708.37	106,792	2.39	46,985	10.95
<b>Comunidad de Madrid</b>	<b>54,763</b>	<b>3,123.56</b>	<b>34,359</b>		<b>29,068</b>	<b>0.53</b>
Madrid	54,763	3,130.92	34,440	2.96	29,068	0.53
<b>Extremadura</b>	<b>9,211</b>	<b>15,233.13</b>	<b>167,564</b>		<b>92,256</b>	<b>10.02</b>
Cáceres	3,418	6,268.92	68,958	2.13	21,445	6.27
Badajoz	5,793	9,141.72	100,559	2.79	70,811	12.22
<b>Comunidad Valenciana</b>	<b>42,001</b>	<b>10,338.45</b>	<b>113,723</b>		<b>95,643</b>	<b>2.28</b>
Castellón	4,905	2,919.84	32,118	1.83	6,365	1.30
Valencia	21,545	4,755.08	52,306	3.25	58,213	2.70
Alicante	15,551	2,559.48	28,154	3.24	31,065	2.00
<b>Andalucía</b>	<b>71,030</b>	<b>42,191.19</b>	<b>464,103</b>		<b>359,557</b>	<b>5.06</b>
Jaén	5,489	6,478.08	71,259	1.60	9,481	1.73
Málaga	13,797	3,506.88	38,576	3.74	65,341	4.74
Sevilla	16,426	6,737.28	74,110	2.78	51,711	3.15
Granada	7,752	6,070.08	66,771	2.17	22,152	2.86
Cádiz	10,499	3,571.20	39,283	3.14	39,559	3.77
Almería	5,964	4,212.00	46,332	4.27	116,816	19.59
Córdoba	6,703	6,610.08	72,711	2.23	26,034	3.88
Huelva	4,400	4,860.96	53,471	2.54	28,463	6.47
<b>Región de Murcia</b>	<b>12,404</b>	<b>5,185.37</b>	<b>57,039</b>		<b>25,276</b>	<b>2.04</b>
Murcia	12,404	5,203.98	57,244	2.39	25,276	2.04
<b>Total España</b>	<b>365,626</b>	<b>231,053</b>	<b>2,541,582</b>		<b>2,522,703</b>	<b>6.9</b>

Tabla 9 – Producción energía eólica.



## 2. Potencial solar

Si recordamos la instalación de Guadalajara anteriormente citada podemos observar que la instalación ocupa una superficie total de 4618 m<sup>2</sup>, mientras que la superficie de los paneles propiamente dichos es de 4030 m<sup>2</sup>:

$$\frac{4030}{4618} = 87,26\% \text{ de ocupación del terreno}$$

Atendiendo a la ficha técnica del panel Schott Perform POLY 240, vemos que tiene unas dimensiones de 1685 mm x 993 mm:

$$Superficie_{panel} = 1,685m \cdot 0,993m = 1,67 m^2$$

El rendimiento de la instalación considerando todos los factores que reducen su eficiencia será:

- Factor de temperatura: por cada grado de aumento a partir de 25°C se reduce un 0,5% el rendimiento. Si la temperatura nominal de nuestro panel es de 45,5°C:

$$FT = (45,5^{\circ}C - 25^{\circ}C) \cdot 0,5\% = 0,8975$$

- Factor de suciedad:  $F_{Suciedad}=0,9$
- Factor de sombra:  $FS=0,9$
- Pérdidas por efecto Joule:  $P_{joule}=0,95$
- Factor de incidencia:  $FI=0,95$
- Rendimiento del inversor:  $\eta_{inv} = 0,97$

$$\begin{aligned}\eta &= \eta_{panel} \cdot PR \cdot FT \cdot FS \cdot F_{Suciedad} \cdot FI \cdot P_{joule} \cdot \eta_{inv} \\ &= 0,2 \cdot 0,8 \cdot 0,8975 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,97 \approx 10\%\end{aligned}$$

Los datos se han obtenido mediante la aplicación de ADRASE [25] que oferta la radiación solar por emplazamiento, en unidades de kWh/m<sup>2</sup>/día.

Como se puede ver en el Anexo II, la mayoría de las provincias podrían ser autosuficientes incluyendo el consumo por transporte. Habrá que considerar por tanto:

- Zonas agrícolas y forestales: aprovecharemos el 30%. A diferencia de las instalaciones eólicas, la instalación de paneles fotovoltaicos sí implica el no aprovechamiento para otras actividades, como la agricultura o el tener que talar un bosque para la instalación de dichos paneles.
- Superficies húmedas: aprovecharemos el 0% de la superficie, ya que no es recomendable la presencia de agua en este tipo de instalaciones que están en contacto directo con el suelo.
- Superficies de agua: no se aprovechará este espacio.

Se detalla a continuación la tabla con los resultados obtenidos, para más información consultar los Anexos I y II.

CA/Provincia	GWh consumidos (tte. Incl.)	Superficie real aprovechable solar (km2)	Nº paneles superficie real	Irradiancia media (kWh/m2 /dia)	E_solar anual (GWh)	E_solar/ GWh cons. (tte incl.)
<b>Galicia</b>	<b>23,020</b>	<b>8,321.93</b>	<b>4,348,332,378</b>		<b>1,057,893</b>	<b>46</b>
La Coruña	9,508	2,226.00	1,163,118,323	3.85	272,957	28.71
Lugo	2,850	2,759.68	1,441,974,113	3.96	347,920	122.09
Pontevedra	7,997	1,258.32	657,491,037	4.07	162,981	20.38
Ourense	2,666	2,036.44	1,064,070,386	4.23	274,035	102.78
<b>Principado de Asturias</b>	<b>8,829</b>	<b>3,016.88</b>	<b>1,576,366,008</b>		<b>345,922</b>	<b>39.18</b>
Asturias	8,829	2,968.84	1,551,263,344	3.66	345,922	39.18
<b>Cantabria</b>	<b>4,930</b>	<b>1,447.11</b>	<b>756,137,265</b>		<b>165,109</b>	<b>33.49</b>
Cantabria	4,930	1,436.67	750,681,582	3.61	165,109	33.49
<b>País Vasco</b>	<b>18,541</b>	<b>1,977.18</b>	<b>1,033,106,253</b>		<b>235,440</b>	<b>12.70</b>
Vizcaya	9,718	598.59	312,772,236	3.66	69,746	7.18
Guipúzcoa	6,079	539.19	281,734,847	3.67	62,968	10.36
Álava	2,745	819.99	428,457,050	3.93	102,725	37.43
<b>Navarra</b>	<b>5,425</b>	<b>3,025.95</b>	<b>1,581,105,010</b>		<b>408,699</b>	<b>75.34</b>
Navarra	5,425	3,013.39	1,574,541,386	4.26	408,699	75.34
<b>Aragón</b>	<b>11,081</b>	<b>13,906.49</b>	<b>7,266,346,907</b>		<b>2,055,020</b>	<b>185.46</b>
Huesca	1,872	4,534.44	2,369,312,781	4.65	671,560	358.72
Zaragoza	8,049	5,009.46	2,617,517,842	4.69	748,559	93.00
Teruel	1,160	4,294.61	2,243,998,016	4.64	634,901	547.37
<b>Cataluña</b>	<b>63,701</b>	<b>8,406.56</b>	<b>4,392,553,551</b>		<b>1,241,852</b>	<b>19.49</b>
Lérida	3,675	3,164.72	1,653,613,576	4.74	477,941	130.04
Gerona	6,381	1,536.34	802,760,649	4.55	222,642	34.89
Tarragona	6,709	1,638.52	856,151,229	4.63	241,363	35.98
Barcelona	46,935	2,010.58	1,050,558,149	4.68	299,906	6.39
<b>Castilla y León</b>	<b>20,726</b>	<b>27,035.75</b>	<b>14,126,581,907</b>		<b>4,030,484</b>	<b>194.47</b>
León	4,010	4,518.20	2,360,827,138	4.63	666,756	166.25
Palencia	1,394	2,335.08	1,220,114,256	4.72	350,788	251.60
Burgos	3,057	4,066.38	2,124,744,424	4.37	565,544	185.01
Zamora	1,528	3,062.69	1,600,301,374	4.80	468,223	306.49
Valladolid	4,435	2,351.90	1,228,902,958	4.74	355,188	80.10
Soria	762	2,988.74	1,561,661,392	4.63	440,259	577.42
Segovia	1,318	2,006.80	1,048,583,042	4.55	290,820	220.64
Salamanca	2,845	3,581.21	1,871,235,836	4.79	546,543	192.10
Ávila	1,376	2,334.50	1,219,811,198	4.66	346,364	251.69
<b>La Rioja</b>	<b>2,674</b>	<b>1,458.47</b>	<b>762,074,080</b>		<b>599,601</b>	<b>224.22</b>
La Rioja	2,674	4,518.20	2,360,827,138	4.17	599,601	224.22

CA/Provincia	GWh consumidos (tte. Incl.)	Superficie real aprovechable solar (km2)	Nº paneles superficie real	Irradiancia media (kWh/m2 /dia)	E_solar anual (GWh)	E_solar/GWh cons. (tte incl.)
<b>Castilla la Mancha</b>	<b>17,289</b>	<b>23,210.77</b>	<b>12,127,972,179</b>		<b>3,585,095</b>	<b>207.37</b>
Guadalajara	2,141	3,542.06	1,850,779,375	4.77	537,748	251.12
Cuenca	1,703	4,970.60	2,597,212,910	4.79	758,584	445.53
Albacete	3,320	4,328.54	2,261,726,949	4.92	677,829	204.14
Toledo	5,832	4,457.01	2,328,854,447	4.89	694,398	119.07
Ciudad Real	4,292	5,745.77	3,002,250,840	5.01	916,536	213.53
<b>Comunidad de Madrid</b>	<b>54,763</b>	<b>1,723.01</b>	<b>900,299,877</b>		<b>262,659</b>	<b>4.80</b>
Madrid	54,763	1,685.88	880,897,538	4.89	262,659	4.80
<b>Extremadura</b>	<b>9,211</b>	<b>7,098.80</b>	<b>3,709,230,952</b>		<b>1,119,739</b>	<b>121.56</b>
Cáceres	3,418	2,835.94	1,481,821,104	5.01	452,375	132.34
Badajoz	5,793	4,135.54	2,160,881,559	5.07	667,364	115.20
<b>Comunidad Valenciana</b>	<b>42,001</b>	<b>5,806.74</b>	<b>3,034,109,936</b>		<b>914,742</b>	<b>21.78</b>
Castellón	4,905	1,659.00	866,852,335	4.88	258,030	52.61
Valencia	21,545	2,701.75	1,411,704,820	4.96	426,667	19.80
Alicante	15,551	1,454.25	759,867,395	4.97	230,045	14.79
<b>Andalucía</b>	<b>71,030</b>	<b>24,611.37</b>	<b>12,859,809,729</b>		<b>4,041,444</b>	<b>56.90</b>
Jaén	5,489	3,778.88	1,974,521,370	5.02	603,791	109.99
Málaga	13,797	2,045.68	1,068,898,424	5.25	342,062	24.79
Sevilla	16,426	3,930.08	2,053,525,634	5.21	651,941	39.69
Granada	7,752	3,540.88	1,850,162,807	5.09	574,221	74.08
Cádiz	10,499	2,083.20	1,088,503,186	5.20	345,019	32.86
Almería	5,964	2,457.00	1,283,819,281	5.34	418,013	70.09
Córdoba	6,703	3,855.88	2,014,755,023	5.17	634,515	94.66
Huelva	4,400	2,835.56	1,481,622,549	5.23	471,882	107.25
<b>Región de Murcia</b>	<b>12,404</b>	<b>2,990.33</b>	<b>1,562,489,682</b>		<b>484,027</b>	<b>39.02</b>
Murcia	12,404	2,941.38	1,536,915,083	5.17	484,027	39.02
<b>Total España</b>	<b>365,626</b>	<b>134,037</b>	<b>70,036,515,715</b>		<b>20,547,724</b>	<b>56.2</b>

Tabla 10– Producción de energía solar fotovoltaica.

# Capítulo V

En este capítulo se analizará la posible viabilidad económica de la instalación de los recursos obtenidos en el capítulo anterior, contrastándolo posteriormente con el producto interior bruto (PIB) de cada provincia. (Datos INE 1 enero 2017) [26]

Utilizaremos para este estudio la potencia real que se puede llegar a instalar o generar con el número de aerogeneradores y módulos que nos permite la superficie real de cada provincia y Comunidad Autónoma.

Posteriormente estas dos magnitudes (número de aerogeneradores y paneles y superficie necesaria) se ajustarán a la potencia que se consume realmente incluyendo el transporte, es decir, potencia para autoconsumo.

Los ingresos anuales son el resultado de multiplicar los GWh consumidos (incluyendo el transporte), que son iguales a los generados, ya que hablamos de autoabastecimiento, por 0.14€/kWh. Los beneficios son el indicador perfecto de si una inversión es verdaderamente interesante o no. Se obtienen restando la inversión inicial que se ha de hacer para la implantación de la nueva instalación renovable a los ingresos que se tendrán durante 20 años, o lo que es lo mismo, la vida útil de la instalación. Este dato también nos permitirá comprobar si el precio del kWh actual es competitivo para las tecnologías renovables.

Todos los cálculos empleados para el desarrollo de las tablas se detallan en el Anexo I.

# 1. Instalación eólica

Consultando presupuestos para la construcción de parques eólicos se observa que los aerogeneradores como tal suponen casi el 88% del coste total de este tipo de instalaciones. Nosotros lo fijaremos en un 85% sabiendo además que cada aerogenerador G80-2.0MW cuesta 1405000 €. [27]

Se muestra a continuación una tabla resumen que analiza la viabilidad económica:

CA/Provincia	Nºaerog. autocons.	€ aerog.	€ instalación eólica autoconsumo	% € eólica cra PIB
<b>Galicia</b>	<b>66,322</b>	<b>93,182,571,028</b>	<b>109,626,554,150</b>	<b>202.74</b>
La Coruña	8,150	11,450,047,919	13,470,644,611	57.88
Lugo	9,364	13,157,054,186	15,478,887,278	238.61
Pontevedra	30,330	42,614,057,813	50,134,185,662	268.15
Ourense	18,478	25,961,411,109	30,542,836,599	543.96
<b>Principado de Asturias</b>	<b>9,070</b>	<b>12,742,910,861</b>	<b>14,991,659,836</b>	<b>65.45</b>
Asturias	9,070	12,742,910,861	14,991,659,836	65.45
<b>Cantabria</b>	<b>4,392</b>	<b>6,170,722,834</b>	<b>7,259,673,923</b>	<b>54.43</b>
Cantabria	4,392	6,170,722,834	7,259,673,923	54.43
<b>País Vasco</b>	<b>18,255</b>	<b>25,648,734,552</b>	<b>30,174,981,826</b>	<b>46.38</b>
Vizcaya	11,892	16,708,363,402	19,656,898,120	59.52
Guipúzcoa	2,859	4,017,104,516	4,726,005,313	21.78
Álava	3,504	4,923,266,634	5,792,078,393	56.03
<b>Navarra</b>	<b>3,887</b>	<b>5,461,207,561</b>	<b>6,424,950,072</b>	<b>36.25</b>
Navarra	3,887	5,461,207,561	6,424,950,072	36.25
<b>Aragón</b>	<b>12,174</b>	<b>17,104,155,534</b>	<b>20,122,535,922</b>	<b>61.29</b>
Huesca	825	1,158,977,689	1,363,503,164	26.09
Zaragoza	2,847	3,999,498,425	4,705,292,264	19.57
Teruel	8,502	11,945,679,420	14,053,740,494	395.30
<b>Cataluña</b>	<b>60,868</b>	<b>85,520,159,054</b>	<b>100,611,951,829</b>	<b>51.04</b>
Lérida	20,759	29,166,964,622	34,314,076,026	301.44
Gerona	12,857	18,064,019,358	21,251,787,480	110.75
Tarragona	9,528	13,386,555,688	15,748,889,045	78.05
Barcelona	17,724	24,902,619,386	29,297,199,278	20.02

CA/Provincia	Nº aerog. autocons.	€ aerog.	€ instalación eólica (autoconsumo)	% € eólica sobre PIB
<b>Castilla y León</b>	<b>24,318</b>	<b>34,166,398,681</b>	<b>40,195,763,154</b>	<b>71.28</b>
León	3,535	4,966,884,070	5,843,393,024	56.94
Palencia	255	358,105,474	421,300,558	10.58
Burgos	1,397	1,962,839,791	2,309,223,284	24.01
Zamora	5,760	8,092,926,104	9,521,089,534	260.44
Valladolid	5,612	7,884,666,496	9,276,078,230	71.44
Soria	1,178	1,654,492,863	1,946,462,191	95.45
Segovia	1,394	1,958,372,051	2,303,967,119	60.70
Salamanca	3,278	4,605,994,598	5,418,817,174	80.58
Ávila	1,909	2,682,117,235	3,155,432,041	94.74
<b>La Rioja</b>	<b>4,064</b>	<b>5,710,554,297</b>	<b>6,718,299,172</b>	<b>86.90</b>
La Rioja	4,064	5,710,554,297	6,718,299,172	86.90
<b>Castilla la Mancha</b>	<b>30,000</b>	<b>42,149,377,426</b>	<b>49,587,502,855</b>	<b>139.72</b>
Guadalajara	5,611	7,883,920,442	9,275,200,520	216.10
Cuenca	6,901	9,695,839,424	11,406,869,911	297.36
Albacete	2,353	3,305,278,723	3,888,563,203	59.62
Toledo	5,379	7,557,178,100	8,890,797,765	75.86
Ciudad Real	9,756	13,707,160,737	16,126,071,455	176.80
<b>Comunidad de Madrid</b>	<b>64,884</b>	<b>91,161,521,868</b>	<b>107,248,849,257</b>	<b>57.45</b>
Madrid	64,884	91,161,521,868	107,248,849,257	57.45
<b>Extremadura</b>	<b>19,218</b>	<b>27,001,620,092</b>	<b>31,766,611,873</b>	<b>182.65</b>
Cáceres	10,991	15,442,957,552	18,168,185,356	271.59
Badajoz	8,227	11,558,662,540	13,598,426,518	127.06
<b>Comunidad Valenciana</b>	<b>58,205</b>	<b>81,778,302,950</b>	<b>96,209,768,176</b>	<b>94.75</b>
Castellón	24,753	34,777,570,552	40,914,788,884	295.29
Valencia	19,359	27,198,797,399	31,998,585,175	59.96
Alicante	14,094	19,801,934,999	23,296,394,117	67.88
<b>Andalucía</b>	<b>136,088</b>	<b>191,203,579,323</b>	<b>224,945,387,439</b>	<b>154.28</b>
Jaén	41,258	57,966,854,653	68,196,299,591	684.73
Málaga	8,145	11,444,168,397	13,463,727,526	49.17
Sevilla	23,541	33,075,188,756	38,911,986,772	110.07
Granada	23,365	32,827,337,892	38,620,397,520	256.70
Cádiz	10,426	14,648,796,474	17,233,878,205	78.09
Almería	2,365	3,323,482,400	3,909,979,294	28.19
Córdoba	18,722	26,304,520,634	30,946,494,864	243.04
Huelva	8,266	11,613,230,116	13,662,623,666	145.47
<b>Región de Murcia</b>	<b>28,093</b>	<b>39,470,440,188</b>	<b>46,435,811,986</b>	<b>172.01</b>
Murcia	28,093	39,470,440,188	46,435,811,986	172.01
<b>Total España</b>	<b>539,838</b>	<b>758,472,256,250</b>	<b>892,320,301,471</b>	<b>90.95</b>

Tabla 11 – Coste de la instalación eólica.

CA/Provincia	Ingresos anuales eólica €	Beneficios totales € (20años instalacion)	Superficie ocupada autocons. (km2)	% superficie autconsumo
<b>Galicia</b>	<b>3,222,865,758</b>	<b>-45,169,238,990</b>	<b>6,029</b>	<b>20.39</b>
La Coruña	1,331,100,670	13,151,368,799	741	9.32
Lugo	398,959,489	-7,499,697,497	851	8.64
Pontevedra	1,119,541,070	-27,743,364,264	2,757	61.36
Ourense	373,264,529	-23,077,546,028	1,680	23.10
<b>Principado de Asturias</b>	<b>1,236,032,636</b>	<b>9,728,992,887</b>	<b>825</b>	<b>7.78</b>
Asturias	1,236,032,636	9,728,992,887	825	7.78
<b>Cantabria</b>	<b>690,216,857</b>	<b>6,544,663,220</b>	<b>399</b>	<b>7.50</b>
Cantabria	690,216,857	6,544,663,220	399	7.50
<b>País Vasco</b>	<b>2,595,736,348</b>	<b>21,739,745,128</b>	<b>1,660</b>	<b>22.89</b>
Vizcaya	1,360,474,300	7,552,587,871	1,081	48.76
Guipúzcoa	851,004,193	12,294,078,540	260	13.02
Álava	384,257,856	1,893,078,718	319	10.49
<b>Navarra</b>	<b>759,499,831</b>	<b>8,765,046,556</b>	<b>353</b>	<b>3.40</b>
Navarra	759,499,831	8,765,046,556	353	3.40
<b>Aragón</b>	<b>1,551,327,608</b>	<b>10,904,016,233</b>	<b>1,107</b>	<b>2.32</b>
Huesca	262,093,576	3,878,368,358	75	0.48
Zaragoza	1,126,845,059	17,831,608,909	259	1.50
Teruel	162,388,973	-10,805,961,033	773	5.22
<b>Cataluña</b>	<b>8,918,188,010</b>	<b>77,751,808,370</b>	<b>5,533</b>	<b>17.23</b>
Lérida	514,564,286	-24,022,790,299	1,887	15.50
Gerona	893,379,420	-3,384,199,090	1,169	19.78
Tarragona	939,286,310	3,036,837,164	866	13.74
Barcelona	6,570,957,994	102,121,960,594	1,611	20.84
<b>Castilla y León</b>	<b>2,901,582,725</b>	<b>17,835,891,344</b>	<b>2,211</b>	<b>2.35</b>
León	561,467,014	5,385,947,258	321	2.06
Palencia	195,188,755	3,482,474,540	23	0.29
Burgos	427,966,792	6,250,112,564	127	0.91
Zamora	213,874,921	-5,243,591,112	524	4.96
Valladolid	620,831,928	3,140,560,331	510	6.29
Soria	106,744,221	188,422,225	107	1.04
Segovia	184,528,559	1,386,604,062	127	1.83
Salamanca	398,316,937	2,547,521,570	298	2.41
Ávila	192,663,597	697,839,905	174	2.16
<b>La Rioja</b>	<b>374,380,103</b>	<b>769,302,885</b>	<b>369</b>	<b>7.32</b>
La Rioja	374,380,103	769,302,885	369	7.32



CA/Provincia	Ingresos anuales eólica €	Beneficios totales € (20años instalación)	Superficie ocupada autocons. (km2)	% superficie autoconsumo
<b>Castilla la Mancha</b>	<b>2,420,394,383</b>	<b>-1,179,615,192</b>	<b>2,727</b>	<b>3.43</b>
Guadalajara	299,796,669	-3,279,267,147	510	4.18
Cuenca	238,373,692	-6,639,396,073	627	3.66
Albacete	464,863,731	5,408,711,424	214	1.43
Toledo	816,434,429	7,437,890,824	489	3.18
Ciudad Real	600,925,862	-4,107,554,220	887	4.48
<b>Comunidad de Madrid</b>	<b>7,666,753,098</b>	<b>46,086,212,702</b>	<b>5,899</b>	<b>73.47</b>
Madrid	7,666,753,098	46,086,212,702	5,899	73.47
<b>Extremadura</b>	<b>1,289,582,575</b>	<b>-5,974,960,382</b>	<b>1,747</b>	<b>4.76</b>
Cáceres	478,552,931	-8,597,126,740	999	6.69
Badajoz	811,029,644	2,622,166,358	748	3.44
<b>Comunidad Valenciana</b>	<b>5,880,141,263</b>	<b>21,393,057,091</b>	<b>5,291</b>	<b>22.75</b>
Castellón	686,706,532	-27,180,658,236	2,250	33.91
Valencia	3,016,275,857	28,326,931,971	1,760	16.28
Alicante	2,177,158,874	20,246,783,357	1,281	22.03
<b>Andalucía</b>	<b>9,944,268,611</b>	<b>-26,060,015,226</b>	<b>12,372</b>	<b>14.12</b>
Jaén	768,513,340	-52,826,032,791	3,751	27.79
Málaga	1,931,565,365	25,167,579,773	740	10.14
Sevilla	2,299,642,058	7,080,854,388	2,140	15.25
Granada	1,085,215,524	-16,916,087,044	2,124	16.80
Cádiz	1,469,913,207	12,164,385,941	948	12.74
Almería	834,958,179	12,789,184,295	215	2.45
Córdoba	938,469,487	-12,177,105,120	1,702	12.36
Huelva	615,991,450	-1,342,794,668	751	7.42
<b>Región de Murcia</b>	<b>1,736,605,415</b>	<b>-11,703,703,678</b>	<b>2,554</b>	<b>22.57</b>
Murcia	1,736,605,415	-11,703,703,678	2,554	22.57
<b>Total España</b>	<b>51,187,575,221</b>	<b>131,431,202,947</b>	<b>49,076</b>	<b>10.05</b>

Tabla 12 – Beneficios y superficie de la instalación eólica.

## 2. Instalación solar fotovoltaica

Una instalación fotovoltaica está compuesta en su mayoría por el generador fotovoltaico, que incluye los módulos y los inversores y supone un 28% del coste total [28]. De aquí también extraemos los precios de los paneles, 142,5 € por panel, y el de los inversores, 4878,31 € la unidad.

Nuestro inversor seleccionado es el *Sunny Boy 3600TL* tiene una potencia de salida nominal de 3680 W [29]. Los paneles *Schott Perform Poly 240* tienen una potencia nominal de 240 W, por lo que podremos un inversor por cada 15 paneles. [30]

CA/Provincia	Nº paneles abastecer auto consumo	Inversores	€ Instalacion fotov.	% €solar /PIB
<b>Galicia</b>	<b>94,938,165</b>	<b>6,308,177</b>	<b>158,214,192,812</b>	<b>292.59</b>
La Coruña	40,514,716	2,700,981	67,674,045,645	290.77
Lugo	11,810,793	787,386	19,728,242,730	304.11
Pontevedra	32,259,979	2,150,665	53,885,686,667	288.22
Ourense	10,352,676	690,178	17,292,666,852	307.98
<b>Principado de Asturias</b>	<b>39,592,169</b>	<b>2,639,478</b>	<b>66,133,061,974</b>	<b>288.72</b>
Asturias	39,592,169	2,639,478	66,133,061,974	288.72
<b>Cantabria</b>	<b>22,578,050</b>	<b>1,505,203</b>	<b>37,713,406,349</b>	<b>282.78</b>
Cantabria	22,415,144	1,494,343	37,441,296,494	280.74
<b>País Vasco</b>	<b>81,357,532</b>	<b>5,423,835</b>	<b>135,896,134,067</b>	<b>208.87</b>
Vizcaya	43,578,241	2,905,216	72,791,226,163	220.40
Guipúzcoa	27,197,119	1,813,141	45,428,901,620	209.37
Álava	11,447,868	763,191	19,122,028,863	184.98
<b>Navarra</b>	<b>20,900,210</b>	<b>1,393,347</b>	<b>34,910,815,594</b>	<b>196.99</b>
Navarra	20,900,210	1,393,347	34,910,815,594	196.99
<b>Aragón</b>	<b>38,849,431</b>	<b>2,589,962</b>	<b>64,892,423,918</b>	<b>197.66</b>
Huesca	6,604,897	440,326	11,032,536,956	211.07
Zaragoza	28,144,898	1,876,327	47,012,031,998	195.49
Teruel	4,099,635	273,309	6,847,854,963	192.62
<b>Cataluña</b>	<b>223,936,545</b>	<b>14,929,103</b>	<b>374,054,007,658</b>	<b>189.76</b>
Lérida	12,716,607	847,774	21,241,275,283	186.60
Gerona	23,008,440	1,533,896	38,432,312,245	200.29
Tarragona	23,798,462	1,586,564	39,751,930,370	197.00
Barcelona	164,413,036	10,960,869	274,628,489,760	187.63

CA/Provincia	Nº paneles abastecer autoconsumo	Inversores	€ Instalacion fotov.	% €solar /PIB
<b>Castilla y León</b>	<b>73,142,985</b>	<b>4,876,199</b>	<b>122,174,907,125</b>	<b>216.65</b>
León	14,200,163	946,678	23,719,343,717	231.14
Palencia	4,849,336	323,289	8,100,122,294	203.34
Burgos	11,484,779	765,652	19,183,683,386	199.49
Zamora	5,221,331	348,089	8,721,488,095	238.57
Valladolid	15,342,836	1,022,856	25,628,016,245	197.38
Soria	2,704,552	180,303	4,517,566,992	221.53
Segovia	4,752,420	316,828	7,938,238,831	209.16
Salamanca	9,741,028	649,402	16,270,996,156	241.95
Ávila	4,846,539	323,103	8,095,451,408	243.05
<b>La Rioja</b>	<b>10,528,988</b>	<b>701,933</b>	<b>17,587,170,273</b>	<b>227.48</b>
La Rioja	10,528,988	701,933	17,587,170,273	227.48
<b>Castilla la Mancha</b>	<b>57,897,375</b>	<b>3,859,825</b>	<b>96,709,294,428</b>	<b>272.49</b>
Guadalajara	7,370,122	491,341	12,310,735,123	286.83
Cuenca	5,829,541	388,636	9,737,415,266	253.84
Albacete	11,079,433	738,629	18,506,609,686	283.76
Toledo	19,558,119	1,303,875	32,669,043,782	278.76
Ciudad Real	14,060,161	937,344	23,485,490,571	257.48
<b>Comunidad de Madrid</b>	<b>183,661,130</b>	<b>12,244,075</b>	<b>306,779,679,530</b>	<b>164.34</b>
Madrid	183,661,130	12,244,075	306,779,679,530	164.34
<b>Extremadura</b>	<b>29,954,530</b>	<b>1,996,969</b>	<b>50,034,763,438</b>	<b>287.69</b>
Cáceres	11,196,941	746,463	18,702,890,089	279.58
Badajoz	18,757,589	1,250,506	31,331,873,350	292.76
<b>Comunidad Valenciana</b>	<b>139,130,878</b>	<b>9,275,392</b>	<b>232,398,256,407</b>	<b>228.87</b>
Castellón	16,478,491	1,098,566	27,524,965,039	198.65
Valencia	71,284,969	4,752,331	119,071,357,674	223.13
Alicante	51,367,418	3,424,495	85,801,933,694	249.99
<b>Andalucía</b>	<b>224,321,751</b>	<b>14,954,783</b>	<b>374,697,439,821</b>	<b>256.98</b>
Jaén	17,951,419	1,196,761	29,985,281,653	301.07
Málaga	43,113,446	2,874,230	72,014,852,135	262.99
Sevilla	51,739,723	3,449,315	86,423,816,073	244.46
Granada	24,975,757	1,665,050	41,718,434,283	277.29
Cádiz	33,124,626	2,208,308	55,329,954,839	250.72
Almería	18,316,841	1,221,123	30,595,665,723	220.57
Córdoba	21,284,936	1,418,996	35,553,444,343	279.22
Huelva	13,815,004	921,000	23,075,990,772	245.70
<b>Región de Murcia</b>	<b>39,387,039</b>	<b>2,625,803</b>	<b>65,790,422,413</b>	<b>243.71</b>
Murcia	39,387,039	2,625,803	65,790,422,413	243.71
<b>Total España</b>	<b>1,280,176,778</b>	<b>85,324,084</b>	<b>2,137,985,975,806</b>	<b>218</b>

Tabla 13 – Coste de la instalación solar fotovoltaica.

CA/Provincia	Ingresos anuales solar €	Beneficios totales (20 años)	Superficie ocupada solar autocons. (km2)	% superficie para cubrir consumo (solar)
<b>Galicia</b>	<b>3,222,865,758</b>	<b>-93,756,877,652</b>	<b>181.69</b>	<b>0.61</b>
La Coruña	1,331,100,670	-41,052,032,236	77.54	0.98
Lugo	398,959,489	-11,749,052,949	22.60	0.23
Pontevedra	1,119,541,070	-31,494,865,269	61.74	1.37
Ourense	373,264,529	-9,827,376,281	19.81	0.27
<b>Principado de Asturias</b>	<b>1,236,032,636</b>	<b>-41,412,409,251</b>	<b>75.77</b>	<b>0.71</b>
Asturias	1,236,032,636	-41,412,409,251	75.77	0.71
<b>Cantabria</b>	<b>690,216,857</b>	<b>-23,909,069,206</b>	<b>43.21</b>	<b>0.81</b>
Cantabria	690,216,857	-23,636,959,352	42.90	0.81
<b>País Vasco</b>	<b>2,595,736,348</b>	<b>-83,981,407,114</b>	<b>155.70</b>	<b>2.15</b>
Vizcaya	1,360,474,300	-45,581,740,173	83.40	3.76
Guipúzcoa	851,004,193	-28,408,817,768	52.05	2.61
Álava	384,257,856	-11,436,871,753	21.91	0.72
<b>Navarra</b>	<b>759,499,831</b>	<b>-19,720,818,965</b>	<b>40.00</b>	<b>0.38</b>
Navarra	759,499,831	-19,720,818,965	40.00	0.38
<b>Aragón</b>	<b>1,551,327,608</b>	<b>-33,865,871,763</b>	<b>74.35</b>	<b>0.16</b>
Huesca	262,093,576	-5,790,665,435	12.64	0.08
Zaragoza	1,126,845,059	-24,475,130,825	53.86	0.31
Teruel	162,388,973	-3,600,075,503	7.85	0.05
<b>Cataluña</b>	<b>8,918,188,010</b>	<b>-195,690,247,460</b>	<b>428.57</b>	<b>1.33</b>
Lérida	514,564,286	-10,949,989,557	24.34	0.20
Gerona	893,379,420	-20,564,723,855	44.03	0.75
Tarragona	939,286,310	-20,966,204,160	45.55	0.72
Barcelona	6,570,957,994	-143,209,329,888	314.66	4.07
<b>Castilla y León</b>	<b>2,901,582,725</b>	<b>-64,143,252,627</b>	<b>139.98</b>	<b>0.15</b>
León	561,467,014	-12,490,003,435	27.18	0.17
Palencia	195,188,755	-4,196,347,197	9.28	0.12
Burgos	427,966,792	-10,624,347,538	21.98	0.16
Zamora	213,874,921	-4,443,989,672	9.99	0.09
Valladolid	620,831,928	-13,211,377,684	29.36	0.36
Soria	106,744,221	-2,382,682,576	5.18	0.05
Segovia	184,528,559	-4,247,667,651	9.10	0.13
Salamanca	398,316,937	-8,304,657,412	18.64	0.15
Ávila	192,663,597	-4,242,179,462	9.28	0.12
<b>La Rioja</b>	<b>374,380,103</b>	<b>-10,099,568,215</b>	<b>20.15</b>	<b>0.40</b>
La Rioja	374,380,103	-10,099,568,215	20.15	0.40

CA/Provincia	Ingresos anuales solar €	Beneficios totales (20 años)	Superficie ocupada solar autocons. (km2)	% superficie para cubrir consumo (solar)
<b>Castilla la Mancha</b>	<b>2,420,394,383</b>	<b>-48,301,406,766</b>	<b>110.81</b>	<b>0.14</b>
Guadalajara	299,796,669	-6,314,801,751	14.11	0.12
Cuenca	238,373,692	-4,969,941,427	11.16	0.07
Albacete	464,863,731	-9,209,335,059	21.20	0.14
Toledo	816,434,429	-16,340,355,193	37.43	0.24
Ciudad Real	600,925,862	-11,466,973,336	26.91	0.14
<b>Comunidad de Madrid</b>	<b>7,666,753,098</b>	<b>-153,444,617,571</b>	<b>351.49</b>	<b>4.38</b>
Madrid	7,666,753,098	-153,444,617,571	351.49	4.38
<b>Extremadura</b>	<b>1,289,582,575</b>	<b>-24,243,111,947</b>	<b>57.33</b>	<b>0.16</b>
Cáceres	478,552,931	-9,131,831,473	21.43	0.14
Badajoz	811,029,644	-15,111,280,474	35.90	0.16
<b>Comunidad Valenciana</b>	<b>5,880,141,263</b>	<b>-114,795,431,140</b>	<b>266.27</b>	<b>1.14</b>
Castellón	686,706,532	-13,790,834,391	31.54	0.48
Valencia	3,016,275,857	-58,745,840,528	136.43	1.26
Alicante	2,177,158,874	-42,258,756,221	98.31	1.69
<b>Andalucía</b>	<b>9,944,268,611</b>	<b>-175,812,067,608</b>	<b>429.31</b>	<b>0.49</b>
Jaén	768,513,340	-14,615,014,853	34.36	0.25
Málaga	1,931,565,365	-33,383,544,836	82.51	1.13
Sevilla	2,299,642,058	-40,430,974,913	99.02	0.71
Granada	1,085,215,524	-20,014,123,806	47.80	0.38
Cádiz	1,469,913,207	-25,931,690,693	63.39	0.85
Almería	834,958,179	-13,896,502,134	35.06	0.40
Córdoba	938,469,487	-16,784,054,599	40.74	0.30
Huelva	615,991,450	-10,756,161,774	26.44	0.26
<b>Región de Murcia</b>	<b>1,736,605,415</b>	<b>-31,058,314,104</b>	<b>75.38</b>	<b>0.67</b>
Murcia	1,736,605,415	-31,058,314,104	75.38	0.67
<b>Total España</b>	<b>51,187,575,221</b>	<b>-1,114,234,471,389</b>	<b>2,450.03</b>	<b>0.50</b>

Tabla 14 – Beneficios y superficie de la instalación solar fotovoltaica.

### 3. Coste del proyecto

El coste del proyecto se ha estimado considerando todos los elementos empleados a lo largo de la duración del proyecto (3 meses), junto con el tiempo que le lleva al ingeniero junior realizar dicho proyecto.

Se ha estimado que un ordenador tiene una vida útil de 3 años, ya que para la realización de este tipo de proyectos dichos aparatos necesitan ser renovados con mayor frecuencia.

Item	Vida útil (h)	Horas de uso	Precio (€)	Precio/hora (€/h)	€ totales
Ordenador	26280	2160	600	0.0228	49.32
Internet		2160		0.0417	90.00
Imprimir			40		40.00
Transporte			66		66.00
Tiempo ingeniero Junior		300		15.0000	4,500.00
<b>Total</b>					<b>4,745.32</b>

Tabla 15 – Coste proyecto.

# Capítulo VI

## Conclusiones

Una vez desarrollados todos los cálculos podemos extraer conclusiones bastante interesantes. Seguiremos el orden del propio documento: consumos, energía eólica y energía solar.

Si analizamos los consumos, se puede apreciar que los GWh calculados (sin incluir el transporte) representan un 54% del consumo actual español. La primera estimación de 5 kWh por persona suponía un 36%, dejando el 64% restante para la industria. Por tanto, asumiremos que este punto es razonable, ya que como se dijo anteriormente muchos de los consumos que se han supuesto no son puramente eléctricos como tal en la actualidad.

Si incluimos el transporte, los particulares consumirían anualmente 365626 GWh. Si suponemos que este dato representa el 36% del total, el consumo global anual en España sería de 1015628 GWh, es decir, la mitad del posible potencial eólico español y 10 veces menos que el solar: España podría ser perfectamente autosuficiente.

La energía eólica parece atractiva en cuanto a viabilidad económica se refiere: con una inversión de unos 760 mil millones de euros, lo que supone en torno al 91% del PIB

nacional de un año, se podría autoabastecer (autoconsumo de particulares) a toda la península y a lo largo de 20 años se reportarían unos beneficios de 131 mil millones de euros aproximadamente, ocupando tan solo 50000 km<sup>2</sup> (un 10% de la superficie total). Con esto se solucionaría el primer problema que se planteó, la dependencia estratégica en el exterior y se podría estudiar la exportación, y su correspondiente venta, del excedente de energía. Esto incluso se podría realizar entre provincias o Comunidades Autónomas, ya que no todas reportan beneficios de igual manera.

Los casos de Palencia y Galicia en particular son extraordinariamente llamativos: Palencia reporta los mayores vientos de toda la península, por lo que podría exportar el excedente a sus provincias cercanas como Zamora o Guadalajara, ya que producir ellas mismas la energía eólica con su correspondiente instalación, les supone pérdidas incluso a lo largo de 20 años. Sin embargo, si estas dos provincias por ejemplo, compraran dicho excedente de energía durante los 20 años de la instalación, gastarían un 45% en el caso de Zamora y un 65% en el de Guadalajara de la inversión que deberían hacer para poder realizar la instalación del parque eólico necesario para abastecer su autoconsumo.

Provincia	Inversión instalación eólica (€)	GWh cons. Año (tte. Incl.)	Coste GWh cons. (tte incl.) 20 años (€)	Coste 20 años/inversión
Zamora	9,521,089,534	1,528	4,278,400,000	0.45
Guadalajara	9,275,200,520	2,141	5,994,800,000	0.65

Tabla 16 – Casos Zamora y Guadalajara: comprar energía.

En el caso de Galicia se reportan pérdidas a excepción de A Coruña, cosa curiosa si se tiene en cuenta la explotación eólica actual que existe en dicha Comunidad Autónoma. Esto se debe a que los vientos medios no se corresponden con los reales diarios, ya que de hacerlo, en Galicia jamás se produciría energía eólica debido a que los vientos medios no superan la velocidad de conexión de los aerogeneradores. Para esto es necesaria la distribución de Weibull, debido a que si se analizan en detalle los vientos diarios, se puede observar que muchos días la velocidad del viento es idónea para la generación eólica, dato que no se corresponde en absoluto con la media. Estos datos se pueden consultar en el Anexo III.

En este documento no se ha tenido en cuenta la distribución de Weibull ya que el objetivo principal reside en conocer mediante estimaciones el posible potencial para la generación eléctrica de cada provincia.

Si analizamos la Comunidad de Madrid, resulta ser la única Comunidad Autónoma que no es capaz de autoabastecerse. Este hecho no parece irracional, ya que al ser la capital del país, se trata de la provincia más poblada y la que menos espacio presenta por su gran masificación.



El caso de la energía solar es aún más optimista, ya que ocupando 2450 km<sup>2</sup> se alimentaría el consumo de particulares en España (transporte incluido), es decir, más o menos, un tercio de la superficie de la provincia de Almería. Recordemos que se trata de cálculos teóricos y que posiblemente se debería ocupar un terreno mucho más extenso. Aun suponiendo que se debiera ocupar el doble, no se llegaría a los 5000 km<sup>2</sup>, es decir, ni al 1% de la superficie, lo que podría ser equivalente a la superficie completa de Gerona.

Todas las provincias podrían ser autosuficientes mediante energía solar fotovoltaica y en total se podría generar 56 veces el consumo de España.

En términos económicos estas instalaciones no son viables, ya que no reportan beneficios ni en 20 años en ninguna provincia. Para que este tipo de instalaciones reportara beneficios, el precio del kWh tendría que ser de 0,3€, lo que supone doblar el actual, por lo tanto no es competitivo el precio del kWh solar.

El bajo rendimiento de estas instalaciones, el propio rendimiento de los paneles en combinación con los factores que lo reducen, hacen que estas instalaciones no sean competitivas. Se espera que en un futuro no muy lejano esto mejore y la energía solar fotovoltaica se encuentre en auge de explotación, siendo España uno de los países pioneros en su implantación debido a su situación ideal.



## Bibliografía

- [1] «El País,» 20 Febrero 2017. [En línea]. Available: [https://economia.elpais.com/economia/2017/02/20/actualidad/1487592106\\_347830.html](https://economia.elpais.com/economia/2017/02/20/actualidad/1487592106_347830.html). [Último acceso: 20 Marzo 2017].
- [2] [En línea]. Available: [http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2012/1/impactos\\_ambientales\\_petroleo.pdf](http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2012/1/impactos_ambientales_petroleo.pdf).
- [3] [En línea]. Available: <http://www.inference.org.uk/sustainable/book/tex/sewtha.pdf>.
- [4] [En línea]. Available: [http://www.gasnaturalfenosa.com/servlet/ficheros/1297131052254/1000%5C381%5C2011\\_SAN\\_ROQUE,0.pdf](http://www.gasnaturalfenosa.com/servlet/ficheros/1297131052254/1000%5C381%5C2011_SAN_ROQUE,0.pdf).
- [5] [En línea]. Available: [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234272455\\_eolica\\_ALecuona.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234272455_eolica_ALecuona.pdf).
- [6] [En línea]. Available: [https://previa.uclm.es/profesorado/ajbarbero/faa/eeolica\\_febrero2012\\_g9.pdf](https://previa.uclm.es/profesorado/ajbarbero/faa/eeolica_febrero2012_g9.pdf).
- [7] [En línea]. Available: <http://www.gamesacorp.com/recursos/doc/productos-servicios/aerogeneradores/nuevas-fichas/catalogo-plataformas.pdf>.
- [8] [En línea]. Available: [https://books.google.de/books?id=mds\\_dE6lCUoC&pg=PA90&lpg=PA90&dq=densidad+del+viento+1.226&source=bl&ots=UHD-\\_WI5T2&sig=8oJmbPkms5Rh7ePxRZB7a51XIIA&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwihh7n9usDWAhUDEJoKHZojC1UQ6AEIjAA#v=onepage&q=densidad%20del%20viento%201.226&f=false](https://books.google.de/books?id=mds_dE6lCUoC&pg=PA90&lpg=PA90&dq=densidad+del+viento+1.226&source=bl&ots=UHD-_WI5T2&sig=8oJmbPkms5Rh7ePxRZB7a51XIIA&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwihh7n9usDWAhUDEJoKHZojC1UQ6AEIjAA#v=onepage&q=densidad%20del%20viento%201.226&f=false).
- [9] [En línea]. Available: [http://dl.idae.es/Publicaciones/10374\\_Energia\\_solar\\_termica\\_A2006.pdf](http://dl.idae.es/Publicaciones/10374_Energia_solar_termica_A2006.pdf).
- [10] [En línea]. Available: <https://www.coit.es/file/4245/download?token=F3kPOsFh>.
- [11] A. Lozano Coronel, «Ejercicio 2 GEFv,» Madrid, 2016.
- [12] [En línea]. Available: <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo23.pdf>.

- [13] [En línea]. Available:  
<http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo21.pdf>.
- [14] [En línea]. Available:  
[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10737\\_Biomasa\\_cultivos\\_energeticos\\_07\\_4bd9c8e7.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_cultivos_energeticos_07_4bd9c8e7.pdf).
- [15] [En línea]. Available: <http://www.enerclub.es/file/7LgZ5MDRyUdtQ69apst6xw> .
- [16] [En línea]. Available:  
[http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10374\\_Energia\\_de\\_la\\_biomasa\\_07\\_b954457c.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10374_Energia_de_la_biomasa_07_b954457c.pdf).
- [17] [En línea]. Available:  
[https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiH1b\\_jlsDWAhUIMJoKHeolAzYQFgggMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.idae.es%2Fuploads%2Fdocumentos%2Fdocumentos\\_Documentacion\\_Basica\\_Residencial\\_Unido\\_c93da537.pdf&usg=AFQjCNHCsd4](https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiH1b_jlsDWAhUIMJoKHeolAzYQFgggMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.idae.es%2Fuploads%2Fdocumentos%2Fdocumentos_Documentacion_Basica_Residencial_Unido_c93da537.pdf&usg=AFQjCNHCsd4).
- [18] [En línea]. Available:  
[http://www.minetad.gob.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/Energia\\_2015.pdf](http://www.minetad.gob.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/Energia_2015.pdf).
- [19] [En línea]. Available: <https://nergiza.com/hibrido-diesel-glp-o-gasolina-todo-sobre-consumos/>.
- [20] [En línea]. Available: <https://nergiza.com/consume-poco-una-moto/>.
- [21] [En línea]. Available: [http://www.aemet.es/es/idi/clima/registros\\_climaticos](http://www.aemet.es/es/idi/clima/registros_climaticos).
- [22] [En línea]. Available: <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0637086.PDF>.
- [23] [En línea]. Available:  
[https://elpais.com/diario/2006/06/14/espana/1150236018\\_850215.html](https://elpais.com/diario/2006/06/14/espana/1150236018_850215.html).
- [24] [En línea]. Available: <https://datosclima.es/Aemethistorico/Vientostad.php>.
- [25] [En línea]. Available: <http://www.adrase.com/> .
- [26] [En línea]. Available:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Provincias\\_de\\_Espa%C3%B1a\\_por\\_PIB](https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Provincias_de_Espa%C3%B1a_por_PIB) .
- [27] [En línea]. Available: <https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/4a4b99d282ce7.pdf>.
- [28] [En línea]. Available:  
<http://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/4529/tfm455.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- [29] [En línea]. Available:  
<https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwip9629mcDWAhXHJZoKHbtnCRsQFghpMAI&url=http%3A%2F%2Ffiles.sma.de%2Fdl%2F15330%2FSB5000TL-21-DEN1551-V20web.pdf&usg=AFQjCNHmfkTEKAwwEdBhh58S6op35DlvYA>.
- [30] [En línea]. Available:  
<https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwinsvnSmcDWAhWKDpoKHRgUAmoQFggtMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.coloradosolarpower.net%2Fimages%2Fbrochures%2Fp100094%2FSCHOTT%2520PERFORM%2520POLY%2520220-240%2520black%2520d>.



# Anexo I

En este anexo se detallan las ecuaciones empleadas en cada uno de los capítulos en sus correspondientes subsecciones para la obtención de las tablas.

## Capítulo III

### Calentamiento/enfriamiento de alimentos

*Tabla 3 – Consumo por calentar/enfriar alimentos.*

$$kWh \text{ año} = Potencia (W) \cdot Aparatos_{persona} \cdot \frac{horas}{ciclo} \cdot \frac{usos}{año} \cdot \frac{1 kWh}{1000 W}$$

### Consumo general doméstico

*Tabla 5 – Consumo general doméstico.*

$$kWh \text{ año} = Potencia (W) \cdot Aparatos_{persona} \cdot \frac{horas}{día} \cdot \frac{365 \text{ días} \cdot 1 kWh}{1000 W}$$

### Iluminación del hogar

*Tabla 6 – Consumo Iluminación del hogar.*

$$kWh \text{ año} = Potencia (W) \cdot Aparatos_{persona} \cdot \frac{horas}{día} \cdot \frac{365 \text{ días} \cdot 1 kWh}{1000 W}$$

### Resumen de consumos

*Tabla 8 – Resultado resumen de consumos.*

$$GWh \text{ consumidos} = habitantes \cdot 8,18 kWh \cdot \frac{365 \text{ días} \cdot 1 GWh}{10^6 kWh}$$

$$GWh\text{ consumidos}_{\text{transporte incluido}} = \text{habitantes} \cdot 23,2\text{ kWh} \cdot \frac{365\text{ días} \cdot 1\text{ GWh}}{10^6\text{ kWh}}$$

## Capítulo IV

### Potencial eólico

*Tabla 9 – Producción energía eólica.*

Cálculo de la superficie disponible:

Para las Comunidades Autónomas (CA):

$$Superficie_{CA}(km^2) = \text{dato conocido}$$

$$Superficie_{artificial_{2000CA}}(km^2) = \text{dato conocido}$$

$$Superficie_{artificial_{2017CA}}(km^2) = Superficie_{artificial_{2000CA}} \cdot 1,4$$

$$Superficie_{disponible_{2017CA}}(km^2) = Superficie_{CA} - Superficie_{artificial_{2017CA}}$$

$$\%Superficie_{artificial_{2017CA}} = \frac{Superficie_{artificial_{2017CA}}}{Superficie_{CA}}$$

Para las Provincias (P):

$$\%Superficie_{artificial_{2017CA}} = \%Superficie_{artificial_{2017P}}$$

$$Superficie_{artificial_{2017P}}(km^2) = \%Superficie_{artificial_{2017P}} \cdot Superficie_P$$

$$Superficie_{disponible_{2017P}}(km^2) = Superficie_P - Superficie_{artificial_{2017P}}$$



Cálculo de la superficie real aprovechable para la explotación eólica:

Para las Comunidades Autónomas (CA):

$$\begin{aligned} Superficie_{real_{CA}}(km^2) &= \\ &= Superficie_{disponible_{CA}} - 0,5 \cdot (Superficie_{agrícola_{CA}} + Superficie_{forestal_{CA}}) \\ &\quad - Superficie_{agua_{CA}} \end{aligned}$$

$$\%Superficie_{real_{CA}} = \frac{Superficie_{real_{CA}}}{Superficie_{CA}}$$

Para las Provincias (P):

$$\%Superficie_{real_{CA}} = \%Superficie_{real_P}$$

$$Superficie_{real_P}(km^2) = \%Superficie_{artificial_{2017_P}} \cdot Superficie_P$$

Cálculo del número de aerogeneradores a instalar en la superficie real aprovechable:

$$N^{\circ}aerogeneradores_{superficie\ real} = Superficie_{real_P}(km^2) \cdot \frac{0,11}{0.01(km^2)}$$

Cálculo de la energía eólica anual producible:

$$E_{eol_{anual}} = N^{\circ}aerogeneradores_{superficie\ real} \cdot 32,4\ MWh \cdot v_{viento}^3 \cdot \frac{1\ MWh}{10^3\ GWh}$$

## Potencial solar

*Tabla 10 – Producción energía solar fotovoltaica.*

Cálculo de la superficie real aprovechable disponible para la explotación fotovoltaica:

$$Sup_{real\ solar} = Sup_{disponible} - (Sup_{forestal} + Sup_{agrícola}) \cdot 0,7 - Sup_{húmeda} - Sup_{agua}$$

Cálculo del número de paneles a instalar en la superficie real aprovechable:

$$N^{\circ}paneles_{superficie\ real} = Superficie_{real\ p}(km^2) \cdot \frac{0,8726}{1,67\ m^2 \cdot \frac{10^6 m^2}{km^2}}$$

Cálculo de la energía fotovoltaica anual producible:

$$E_{eol\ anual} = N^{\circ}paneles_{superficie\ real} \cdot 1,67\ m^2 \cdot Irradiancia \frac{kWh}{m^2 \cdot día} \cdot \eta \cdot 365\ días \cdot \frac{1\ km^2}{10^6 m^2}$$

## Capítulo V

### Instalación eólica

*Tabla 11 – Coste de la instalación eólica.*

Cálculo del número de aerogeneradores necesarios para abastecer el autoconsumo:

$$N^{\circ}aerog_{autoconsumo} = N^{\circ}aerogeneradores_{superficie\ real} \cdot \frac{E_{eol\ anual}}{GWh_{consumido\ s\ tte\ incluido}}$$

Cálculo del precio de los aerogeneradores necesarios para abastecer el autoconsumo:

$$\text{€}_{\text{aerogeneradores}} = N^{\circ}\text{aerog}_{\text{autoconsumo}} \cdot 1405000 \text{ €}$$

Cálculo del precio de la instalación eólica completa:

$$\text{€}_{\text{instalación eólica}_{\text{autoconsumo}}} = \frac{\text{€}_{\text{aerogeneradores}}}{0,85}$$

*Tabla 12 – Beneficios y superficie de la instalación eólica.*

Cálculo de los ingresos anuales:

$$\begin{aligned} \text{Ingresos}_{\text{anuales}_{\text{eolica}}} &= \text{Ingresos}_{\text{anuales}_{\text{solaes}}} \\ &= \text{GWh}_{\text{consumido}_{\text{tte incluido}}} \cdot \frac{0,14\text{€}}{\text{kWh}} \cdot \frac{10^6 \text{kWh}}{1 \text{ GWh}} \end{aligned}$$

Cálculo de los beneficios totales € (20 años):

$$\text{Beneficios}_{\text{totales}} = \text{Ingresos}_{\text{anuales}_{\text{eolica}}} \cdot 20 - \text{€}_{\text{instalación eólica}_{\text{autoconsumo}}}$$

Cálculo de la superficie ocupada para abastecer el autoconsumo:

$$\begin{aligned} \text{Superficie}_{\text{ocupada}_{\text{autoconsumo}}} &= N^{\circ}\text{aerog}_{\text{autoconsumo}} \cdot \frac{0,01 \text{ km}^2}{0,11} \\ \% \text{superficie}_{\text{ocupada}} &= \frac{\text{Superficie}_{\text{total}}}{\text{Superficie}_{\text{ocupada}_{\text{autoconsumo}}}} \cdot 100 \end{aligned}$$

## Instalación solar fotovoltaica

*Tabla 13 – Coste de la instalación solar fotovoltaica.*

Cálculo del número de paneles e inversores necesarios para abastecer el autoconsumo:

$$N^{\circ} \text{paneles}_{\text{autoconsumo}} = N^{\circ} \text{paneles}_{\text{superficie real}} \cdot \frac{E_{\text{solar anual}}}{GWh_{\text{consumidos}_{\text{tte incluido}}}}$$

$$N^{\circ} \text{inversores} = \frac{N^{\circ} \text{paneles}_{\text{autoconsumo}}}{15}$$

Cálculo del precio de la instalación fotovoltaica completa:

$$\begin{aligned} \text{€}_{\text{instalación eólica}_{\text{autoconsumo}}} \\ = \frac{(N^{\circ} \text{paneles}_{\text{autoconsumo}} \cdot 142,5 \text{ €}) + (N^{\circ} \text{inversores} \cdot 4878 \text{ €})}{0,28} \end{aligned}$$

*Tabla 14 – Beneficios y superficie de la instalación solar fotovoltaica.*

Cálculo de los ingresos anuales:

$$\begin{aligned} \text{Ingresos}_{\text{anuales}_{\text{eólica}}} &= \text{Ingresos}_{\text{anuales}_{\text{solares}}} \\ &= GWh_{\text{consumidos}_{\text{tte incluido}}} \cdot \frac{0,14 \text{ €}}{kWh} \cdot \frac{10^6 kWh}{1 GWh} \end{aligned}$$

Cálculo de los beneficios totales € (20 años):

$$\text{Beneficios}_{\text{totales}} = \text{Ingresos}_{\text{anuales}_{\text{solar}}} \cdot 20 - \text{€}_{\text{instalación solar}_{\text{autoconsumo}}}$$

Cálculo de la superficie ocupada para abastecer el autoconsumo:

$$Superficie_{ocupada_{autoconsumo}} = N^{\circ}paneles_{autoconsumo} \cdot \frac{1,67 \text{ m}^2}{0,8726 \cdot 10^6 \text{ km}^2}$$

$$\%superficie_{ocupada} = \frac{Superficie_{total}}{Superficie_{ocupada_{autoconsumo}}} \cdot 100$$

# Anexo II

## Datos generales de las Comunidades Autónomas/ provincias

CA/Provincia	Habitantes	PIB(€)	GWh consumidos	GWh consumidos (tte. Incl.)
<b>Galicia</b>	<b>2,718,525</b>	<b>54,072,765,000</b>	<b>8,117</b>	<b>23,020</b>
La Coruña	1,122,799	23,274,472,000	3,352	9,508
Lugo	336,527	6,487,213,000	1,005	2,850
Pontevedra	944,346	18,696,160,000	2,820	7,997
Ourense	314,853	5,614,920,000	940	2,666
<b>Principado de Asturias</b>	<b>1,042,608</b>	<b>22,905,655,000</b>	<b>3,113</b>	<b>8,829</b>
Asturias	1,042,608	22,905,655,000	3,113	8,829
<b>Cantabria</b>	<b>582,206</b>	<b>13,336,874,000</b>	<b>1,738</b>	<b>4,930</b>
Cantabria	582,206	13,336,874,000	1,738	4,930
<b>País Vasco</b>	<b>2,189,534</b>	<b>65,062,302,000</b>	<b>6,537</b>	<b>18,541</b>
Vizcaya	1,147,576	33,027,203,000	3,426	9,718
Guipúzcoa	717,832	21,697,500,000	2,143	6,079
Álava	324,126	10,337,599,000	968	2,745
<b>Navarra</b>	<b>640,647</b>	<b>17,722,300,000</b>	<b>1,913</b>	<b>5,425</b>
Navarra	640,647	17,722,300,000	1,913	5,425
<b>Aragón</b>	<b>1,308,563</b>	<b>32,831,070,000</b>	<b>3,907</b>	<b>11,081</b>
Huesca	221,079	5,227,044,000	660	1,872
Zaragoza	950,507	24,048,843,000	2,838	8,049
Teruel	136,977	3,555,183,000	409	1,160
<b>Cataluña</b>	<b>7,522,596</b>	<b>197,118,777,000</b>	<b>22,460</b>	<b>63,701</b>
Lérida	434,041	11,383,289,000	1,296	3,675
Gerona	753,576	19,188,253,000	2,250	6,381
Tarragona	792,299	20,178,923,000	2,366	6,709
Barcelona	5,542,680	146,368,312,000	16,549	46,935
<b>Castilla y León</b>	<b>2,447,519</b>	<b>56,392,674,000</b>	<b>7,308</b>	<b>20,726</b>
León	473,604	10,262,109,000	1,414	4,010
Palencia	164,644	3,983,588,000	492	1,394
Burgos	360,995	9,616,556,000	1,078	3,057
Zamora	180,406	3,655,724,000	539	1,528
Valladolid	523,679	12,984,278,000	1,564	4,435
Soria	90,040	2,039,271,000	269	762
Segovia	155,652	3,795,363,000	465	1,318
Salamanca	335,985	6,725,036,000	1,003	2,845
Ávila	162,514	3,330,749,000	485	1,376

CA/Provincia	Habitantes	PIB(€)	GWh consumidos	GWh consumidos (tte. Incl.)
<b>La Rioja</b>	<b>315,794</b>	<b>7,731,168,000</b>	<b>943</b>	<b>2,674</b>
La Rioja	315,794	7,731,168,000	943	2,674
<b>Castilla la Mancha</b>	<b>2,041,631</b>	<b>35,490,396,000</b>	<b>6,096</b>	<b>17,289</b>
Guadalajara	252,882	4,292,009,000	755	2,141
Cuenca	201,071	3,836,006,000	600	1,703
Albacete	392,118	6,521,852,000	1,171	3,320
Toledo	688,672	11,719,314,000	2,056	5,832
Ciudad Real	506,888	9,121,215,000	1,513	4,292
<b>Comunidad de Madrid</b>	<b>6,466,996</b>	<b>186,671,422,000</b>	<b>19,309</b>	<b>54,763</b>
Madrid	6,466,996	186,671,422,000	19,309	54,763
<b>Extremadura</b>	<b>1,087,778</b>	<b>17,391,689,000</b>	<b>3,248</b>	<b>9,211</b>
Cáceres	403,665	6,689,622,000	1,205	3,418
Badajoz	684,113	10,702,067,000	2,043	5,793
<b>Comunidad Valenciana</b>	<b>4,959,968</b>	<b>101,542,492,000</b>	<b>14,809</b>	<b>42,001</b>
Castellón	579,245	13,855,766,000	1,729	4,905
Valencia	2,544,264	53,364,782,000	7,596	21,545
Alicante	1,836,459	34,321,944,000	5,483	15,551
<b>Andalucía</b>	<b>8,388,107</b>	<b>145,805,444,000</b>	<b>25,044</b>	<b>71,030</b>
Jaén	648,250	9,959,624,000	1,935	5,489
Málaga	1,629,298	27,382,809,000	4,865	13,797
Sevilla	1,939,775	35,352,621,000	5,792	16,426
Granada	915,392	15,045,170,000	2,733	7,752
Cádiz	1,239,889	22,068,861,000	3,702	10,499
Almería	704,297	13,871,424,000	2,103	5,964
Córdoba	791,610	12,733,186,000	2,364	6,703
Huelva	519,596	9,391,749,000	1,551	4,400
<b>Región de Murcia</b>	<b>1,464,847</b>	<b>26,995,450,000</b>	<b>4,374</b>	<b>12,404</b>
Murcia	1,464,847	26,995,450,000	4,374	12,404
<b>Total España</b>	<b>43,177,319</b>	<b>981,070,478,000</b>	<b>128,915</b>	<b>365,626</b>

## Superficies de las Comunidades Autónomas/ provincias

CA/Provincia	Superficie (km2)	Sup. Artificial 2000 (km2)	Sup. Artificial 2017 (km2)	Sup. disponible (km2)
<b>Galicia</b>	<b>29,573.00</b>	<b>539.98</b>	<b>755.97</b>	<b>28,817.03</b>
La Coruña	7,950.00		238.50	7,711.50
Lugo	9,856.00		295.68	9,560.32
Pontevedra	4,494.00		134.82	4,359.18
Ourense	7,273.00		218.19	7,054.81
<b>Principado de Asturias</b>	<b>10,603.00</b>	<b>214.36</b>	<b>300.10</b>	<b>10,302.90</b>
Asturias	10,603.00		318.09	10,284.91
<b>Cantabria</b>	<b>5,321.00</b>	<b>147.95</b>	<b>207.13</b>	<b>5,113.87</b>
Cantabria	5,321.00		212.84	5,108.16
<b>País Vasco</b>	<b>7,251.00</b>	<b>268.91</b>	<b>376.48</b>	<b>6,874.52</b>
Vizcaya	2,217.00		110.85	2,106.15
Guipúzcoa	1,997.00		99.85	1,897.15
Álava	3,037.00		151.85	2,885.15
<b>Navarra</b>	<b>10,391.00</b>	<b>123.66</b>	<b>173.12</b>	<b>10,217.88</b>
Navarra	10,391.00		207.82	10,183.18
<b>Aragón</b>	<b>47,719.00</b>	<b>436.47</b>	<b>611.06</b>	<b>47,107.94</b>
Huesca	15,636.00		156.36	15,479.64
Zaragoza	17,274.00		172.74	17,101.26
Teruel	14,809.00		148.09	14,660.91
<b>Cataluña</b>	<b>32,116.00</b>	<b>1,561.48</b>	<b>2,186.07</b>	<b>29,929.93</b>
Lérida	12,172.00		852.04	11,319.96
Gerona	5,909.00		413.63	5,495.37
Tarragona	6,302.00		441.14	5,860.86
Barcelona	7,733.00		541.31	7,191.69
<b>Castilla y León</b>	<b>93,950.00</b>	<b>1,184.24</b>	<b>1,657.94</b>	<b>92,292.06</b>
León	15,580.00		311.60	15,268.40
Palencia	8,052.00		161.04	7,890.96
Burgos	14,022.00		280.44	13,741.56
Zamora	10,561.00		211.22	10,349.78
Valladolid	8,110.00		162.20	7,947.80
Soria	10,306.00		206.12	10,099.88
Segovia	6,920.00		138.40	6,781.60
Salamanca	12,349.00		246.98	12,102.02
Ávila	8,050.00		161.00	7,889.00
<b>La Rioja</b>	<b>5,045.00</b>	<b>71.27</b>	<b>99.77</b>	<b>4,945.23</b>
La Rioja	5,045.00		100.90	4,944.10



CA/Provincia	Superficie (km2)	Sup. Artificial 2000 (km2)	Sup. Artificial 2017 (km2)	Sup. disponible (km2)
<b>Castilla la Mancha</b>	<b>79,462.00</b>	<b>781.16</b>	<b>1,093.62</b>	<b>78,368.38</b>
Guadalajara	12,214.00		122.14	12,091.86
Cuenca	17,140.00		171.40	16,968.60
Albacete	14,926.00		149.26	14,776.74
Toledo	15,369.00		153.69	15,215.31
Ciudad Real	19,813.00		198.13	19,614.87
<b>Comunidad de Madrid</b>	<b>8,028.00</b>	<b>957.33</b>	<b>1,340.26</b>	<b>6,687.74</b>
Madrid	8,028.00		1,364.76	6,663.24
<b>Extremadura</b>	<b>36,692.00</b>	<b>304.78</b>	<b>426.69</b>	<b>36,265.31</b>
Cáceres	14,926.00		149.26	14,776.74
Badajoz	21,766.00		217.66	21,548.34
<b>Comunidad Valenciana</b>	<b>23,260.00</b>	<b>1,166.01</b>	<b>1,632.42</b>	<b>21,627.58</b>
Castellón	6,636.00		464.52	6,171.48
Valencia	10,807.00		756.49	10,050.51
Alicante	5,817.00		407.19	5,409.81
<b>Andalucía</b>	<b>87,597.00</b>	<b>1,753.75</b>	<b>2,455.25</b>	<b>85,141.75</b>
Jaén	13,496.00		404.88	13,091.12
Málaga	7,306.00		219.18	7,086.82
Sevilla	14,036.00		421.08	13,614.92
Granada	12,646.00		379.38	12,266.62
Cádiz	7,440.00		223.20	7,216.80
Almería	8,775.00		263.25	8,511.75
Córdoba	13,771.00		413.13	13,357.87
Huelva	10,127.00		303.81	9,823.19
<b>Región de Murcia</b>	<b>11,313.00</b>	<b>365.96</b>	<b>512.35</b>	<b>10,800.65</b>
Murcia	11,313.00		565.65	10,747.35
<b>Total España</b>	<b>488,321.00</b>		<b>13,828.22</b>	<b>474,492.78</b>

CA/Provincia	%sup. Art. 2017	Sup. real aprovech. eol (km2)	%sup real apr. Eol./ total	Sup. real aprovech. solar(km2)	%sup real apr. solar./total
<b>Galicia</b>	<b>0.03</b>	<b>14,175.82</b>	<b>0.48</b>	<b>8,321.93</b>	<b>0.28</b>
La Coruña	0.03	3,816.00	0.48	2,226.00	0.28
Lugo	0.03	4,730.88	0.48	2,759.68	0.28
Pontevedra	0.03	2,157.12	0.48	1,258.32	0.28
Ourense	0.03	3,491.04	0.48	2,036.44	0.28
<b>Principado de Asturias</b>	<b>0.03</b>	<b>5,099.97</b>	<b>0.48</b>	<b>3,016.88</b>	<b>0.28</b>
Asturias	0.03	5,089.44	0.48	2,968.84	0.28
<b>Cantabria</b>	<b>0.04</b>	<b>2,501.74</b>	<b>0.47</b>	<b>1,447.11</b>	<b>0.27</b>
Cantabria	0.04	2,500.87	0.47	1,436.67	0.27
<b>País Vasco</b>	<b>0.05</b>	<b>3,369.43</b>	<b>0.46</b>	<b>1,977.18</b>	<b>0.27</b>
Vizcaya	0.05	1,019.82	0.46	598.59	0.27
Guipúzcoa	0.05	918.62	0.46	539.19	0.27
Álava	0.05	1,397.02	0.46	819.99	0.27
<b>Navarra</b>	<b>0.02</b>	<b>5,073.50</b>	<b>0.49</b>	<b>3,025.95</b>	<b>0.29</b>
Navarra	0.02	5,091.59	0.49	3,013.39	0.29
<b>Aragón</b>	<b>0.01</b>	<b>23,339.55</b>	<b>0.49</b>	<b>13,906.49</b>	<b>0.29</b>
Huesca	0.01	7,661.64	0.49	4,534.44	0.29
Zaragoza	0.01	8,464.26	0.49	5,009.46	0.29
Teruel	0.01	7,256.41	0.49	4,294.61	0.29
<b>Cataluña</b>	<b>0.07</b>	<b>14,544.80</b>	<b>0.45</b>	<b>8,406.56</b>	<b>0.26</b>
Lérida	0.07	5,477.40	0.45	3,164.72	0.26
Gerona	0.07	2,659.05	0.45	1,536.34	0.26
Tarragona	0.07	2,835.90	0.45	1,638.52	0.26
Barcelona	0.07	3,479.85	0.45	2,010.58	0.26
<b>Castilla y León</b>	<b>0.02</b>	<b>45,576.41</b>	<b>0.49</b>	<b>27,035.75</b>	<b>0.29</b>
León	0.02	7,634.20	0.49	4,518.20	0.29
Palencia	0.02	3,945.48	0.49	2,335.08	0.29
Burgos	0.02	6,870.78	0.49	4,066.38	0.29
Zamora	0.02	5,174.89	0.49	3,062.69	0.29
Valladolid	0.02	3,973.90	0.49	2,351.90	0.29
Soria	0.02	5,049.94	0.49	2,988.74	0.29
Segovia	0.02	3,390.80	0.49	2,006.80	0.29
Salamanca	0.02	6,051.01	0.49	3,581.21	0.29
Ávila	0.02	3,944.50	0.49	2,334.50	0.29
<b>La Rioja</b>	<b>0.02</b>	<b>2,447.53</b>	<b>0.49</b>	<b>1,458.47</b>	<b>0.29</b>
La Rioja	0.02	2,472.05	0.49	4,518.20	0.29

CA/Provincia	%sup. Art. 2017	Sup. real aprovech. eol (km2)	%sup real apr. Eol./ total	Sup. real aprovech. solar(km2)	%sup real apr. solar./total
<b>Castilla la Mancha</b>	<b>0.01</b>	<b>38,852.46</b>	<b>0.49</b>	<b>23,210.77</b>	<b>0.29</b>
Guadalajara	0.01	5,984.86	0.49	3,542.06	0.29
Cuenca	0.01	8,398.60	0.49	4,970.60	0.29
Albacete	0.01	7,313.74	0.49	4,328.54	0.29
Toledo	0.01	7,530.81	0.49	4,457.01	0.29
Ciudad Real	0.01	9,708.37	0.49	5,745.77	0.29
<b>Comunidad de Madrid</b>	<b>0.17</b>	<b>3,123.56</b>	<b>0.39</b>	<b>1,723.01</b>	<b>0.21</b>
Madrid	0.17	3,130.92	0.39	1,685.88	0.21
<b>Extremadura</b>	<b>0.01</b>	<b>15,233.13</b>	<b>0.42</b>	<b>7,098.80</b>	<b>0.19</b>
Cáceres	0.01	6,268.92	0.42	2,835.94	0.19
Badajoz	0.01	9,141.72	0.42	4,135.54	0.19
<b>Comunidad Valenciana</b>	<b>0.07</b>	<b>10,338.45</b>	<b>0.44</b>	<b>5,806.74</b>	<b>0.25</b>
Castellón	0.07	2,919.84	0.44	1,659.00	0.25
Valencia	0.07	4,755.08	0.44	2,701.75	0.25
Alicante	0.07	2,559.48	0.44	1,454.25	0.25
<b>Andalucía</b>	<b>0.03</b>	<b>42,191.19</b>	<b>0.48</b>	<b>24,611.37</b>	<b>0.28</b>
Jaén	0.03	6,478.08	0.48	3,778.88	0.28
Málaga	0.03	3,506.88	0.48	2,045.68	0.28
Sevilla	0.03	6,737.28	0.48	3,930.08	0.28
Granada	0.03	6,070.08	0.48	3,540.88	0.28
Cádiz	0.03	3,571.20	0.48	2,083.20	0.28
Almería	0.03	4,212.00	0.48	2,457.00	0.28
Córdoba	0.03	6,610.08	0.48	3,855.88	0.28
Huelva	0.03	4,860.96	0.48	2,835.56	0.28
<b>Región de Murcia</b>	<b>0.05</b>	<b>5,185.37</b>	<b>0.46</b>	<b>2,990.33</b>	<b>0.26</b>
Murcia	0.05	5,203.98	0.46	2,941.38	0.26
<b>Total España</b>	<b>0.03</b>	<b>231,052.92</b>	<b>0.47</b>	<b>134,037.34</b>	<b>0.27</b>

# Anexo III

## Recurso solar de las Comunidades Autónomas/ provincias

### A Coruña

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2	3.2	4.5	6.5	6.6	8.4	7.5	6.6	5.3	3.7	2.3	2	<b>4.88</b>
Valor medio	1.4	2.2	3.5	5	5	6.9	6.2	5.6	4.4	2.8	1.7	1.5	<b>3.85</b>
Percentil 25	1	1.5	2.3	3.5	3.4	4.8	4.6	4	3.3	2	1.2	1	<b>2.72</b>

### Álava

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.2	3.4	5.1	5.8	7.2	7.4	7.8	6.7	5.3	3.8	2.5	1.8	<b>4.92</b>
Valor medio	1.5	2.4	3.8	4.5	5.7	6.2	6.9	5.7	4.4	2.9	1.8	1.4	<b>3.93</b>
Percentil 25	0.9	1.6	2.4	3	3.7	4.2	5.2	4.2	3.1	1.8	1.2	0.9	<b>2.68</b>

### Albacete

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	3.1	3.9	5.2	6.7	8.2	8.3	8.2	7.2	5.8	4.1	3	2.6	<b>5.53</b>
Valor medio	2.4	3.3	4.6	5.9	7.1	7.9	7.9	6.8	5.2	3.4	2.5	2	<b>4.92</b>
Percentil 25	1.8	2.1	3.4	4.1	5.6	7	7.4	6.2	4.2	2.5	1.6	1.2	<b>3.93</b>

### Alicante

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	3.1	4.1	5.2	6.6	8	7.9	8.2	7	5.8	4.2	3.2	2.6	<b>5.49</b>
Valor medio	2.7	3.6	4.6	5.9	7.2	7.5	7.8	6.6	5.2	3.6	2.7	2.2	<b>4.97</b>
Percentil 25	2	2.7	3.5	4.4	5.8	6.6	7.3	5.9	4.4	2.7	2	1.5	<b>4.07</b>

## Almería

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	3.3	4.4	5.5	6.7	8.2	8.3	8.2	7.4	6.1	4.6	3.6	2.8	<b>5.76</b>
Valor medio	3	3.9	5	6.2	7.7	8	7.9	7	5.6	4	3.2	2.6	<b>5.34</b>
Percentil 25	2.4	3.2	4.1	5.1	6.6	7.5	7.5	6.4	4.9	3.2	2.6	1.9	<b>4.62</b>

## Asturias

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.2	3.2	4.6	5.9	6.8	7.7	7.2	6.2	5.4	3.7	2.2	1.9	<b>4.75</b>
Valor medio	1.7	2.5	3.5	4.4	5.1	6	5.5	4.8	4.3	2.9	1.7	1.5	<b>3.66</b>
Percentil 25	1.2	1.7	2.4	3	3.6	4	3.5	3.3	3.1	2.1	1.1	1	<b>2.50</b>

## Ávila

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.6	3.6	5.4	6.6	7.6	8.2	8	7.2	5.6	4.2	2.8	2.2	<b>5.33</b>
Valor medio	2	2.9	4.6	5.6	6.5	7.6	7.6	6.7	5.1	3.4	2.2	1.7	<b>4.66</b>
Percentil 25	1.3	1.9	3.4	4.1	4.9	6.4	6.9	6	4.2	2.3	1.5	1	<b>3.66</b>

## Badajoz

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.8	4	5.5	7.1	7.5	8.4	8.1	7.3	6.1	4.5	3.2	2.7	<b>5.60</b>
Valor medio	2.4	3.3	4.9	6.1	6.9	8	7.8	7	5.6	3.9	2.8	2.1	<b>5.07</b>
Percentil 25	1.4	2.3	3.7	4.5	5.3	6.9	7.3	6.4	4.9	3	1.9	1.4	<b>4.08</b>

## Barcelona

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.5	3.7	5.1	6.2	7.8	7.8	8	6.8	5.5	3.9	2.6	2.2	<b>5.18</b>
Valor medio	2.2	3.3	4.5	5.5	7.1	7.4	7.6	6.4	4.9	3.2	2.2	1.9	<b>4.68</b>
Percentil 25	1.5	2.4	3.5	4.2	5.6	6.4	6.9	5.5	4.1	2.3	1.4	1.4	<b>3.77</b>

## Bilbao

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.1	3.2	4.9	5.6	7.1	7.5	7.4	6.4	5.2	3.7	2.3	1.9	<b>4.78</b>
Valor medio	1.5	2.4	3.6	4.2	5.4	5.6	6	5	4.2	2.9	1.7	1.4	<b>3.66</b>
Percentil 25	0.9	1.5	2.5	2.6	3.6	3.6	3.9	3.6	2.8	1.9	1.1	0.9	<b>2.41</b>

## Burgos

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.1	3.2	5.3	6.4	7.7	8.5	8.4	7.5	5.6	4	2.6	1.9	<b>5.27</b>
Valor medio	1.5	2.5	4.3	5.2	6.3	7.3	7.5	6.5	4.8	3.2	1.9	1.4	<b>4.37</b>
Percentil 25	0.9	1.5	3	3.6	4.5	5.6	6.1	5.3	3.6	2.2	1.3	0.9	<b>3.21</b>

## Cáceres

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.7	3.9	5.6	6.9	7.7	8.3	8.1	7.4	6.1	4.4	3.1	2.5	<b>5.56</b>
Valor medio	2.2	3.3	5	6.1	6.8	8	7.8	7	5.5	3.8	2.7	1.9	<b>5.01</b>
Percentil 25	1.2	2.2	3.9	4.6	5.2	7.1	7.4	6.5	4.6	2.8	1.7	1.1	<b>4.03</b>

## Cádiz

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	3.1	4.2	5.6	6.7	7.6	8	8.2	7.5	6.2	4.9	3.4	2.8	<b>5.68</b>
Valor medio	2.6	3.7	5.1	6.1	7	7.6	7.8	7.1	5.7	4.2	3.1	2.4	<b>5.20</b>
Percentil 25	1.7	2.7	4.2	4.9	6	7	7.3	6.5	4.8	3.5	2.3	1.6	<b>4.38</b>

## Cantabria

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.1	3.1	4.7	5.6	6.6	7.2	7.2	6.2	5	3.7	2.4	1.9	<b>4.64</b>
Valor medio	1.5	2.3	3.6	4.3	5.1	5.7	5.7	4.9	4.1	2.9	1.7	1.5	<b>3.61</b>
Percentil 25	0.9	1.4	2.2	2.6	3.4	3.5	3.8	3.3	2.7	1.9	1.1	1	<b>2.32</b>

## Castellón

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.9	4	5.3	6.7	8.1	8.2	8.3	7	5.8	4.1	3	2.5	<b>5.49</b>
Valor medio	2.5	3.4	4.6	5.8	7.2	7.6	7.8	6.4	5.2	3.5	2.5	2.1	<b>4.88</b>
Percentil 25	1.8	2.5	3.5	4.3	5.6	6.5	7	5.6	4.3	2.6	1.7	1.4	<b>3.90</b>

## Ciudad Real

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	3.1	4	5.7	7	8	8.3	8.2	7.3	5.9	4.6	3.3	2.6	<b>5.67</b>
Valor medio	2.3	3.4	5	6	7	7.9	7.9	6.9	5.4	3.8	2.5	2	<b>5.01</b>
Percentil 25	1.6	2.4	4	4.6	5.5	7.1	7.5	6.5	4.5	2.9	1.8	1.2	<b>4.13</b>

## Córdoba

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	3.3	4.5	5.7	7.2	8.3	8.7	8.3	7.7	6.4	5	3.4	3.3	<b>5.98</b>
Valor medio	2.5	3.5	5	6.1	7.2	8	7.9	7.1	5.6	4.1	2.8	2.2	<b>5.17</b>
Percentil 25	1.3	2.2	2.7	4.2	4.2	4.5	4.9	5.2	2.6	1.7	1.3	1.4	<b>3.02</b>

## Cuenca

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.6	3.8	5.5	6.6	7.8	8.4	8.2	7.2	5.7	4.2	2.8	2.2	<b>5.42</b>
Valor medio	2.1	3.1	4.8	5.6	6.8	7.9	7.8	6.8	5.1	3.5	2.2	1.8	<b>4.79</b>
Percentil 25	1.3	2.1	3.6	4.1	5.2	6.8	7.2	6	4.2	2.5	1.5	1	<b>3.79</b>

## Gerona

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.5	3.7	5	5.9	7.6	7.6	8.1	6.7	5.5	3.8	2.6	2.2	<b>5.10</b>
Valor medio	2.1	3.2	4.4	5.1	6.8	7.1	7.6	6.2	4.9	3.2	2.1	1.9	<b>4.55</b>
Percentil 25	1.5	2.3	3.3	3.7	5.3	6.1	6.9	5.3	4	2.4	1.4	1.3	<b>3.63</b>

## Granada

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	3	4.1	5.5	6.6	7.5	8.2	8.1	7.2	5.9	4.7	3.4	2.6	<b>5.57</b>
Valor medio	2.6	3.6	4.9	5.8	7	7.9	7.8	6.9	5.4	4	2.9	2.3	<b>5.09</b>
Percentil 25	1.8	2.6	3.5	4.2	5.2	7.2	7.5	6.4	4.9	2.9	2.1	1.4	<b>4.14</b>

## Guadalajara

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.5	3.7	5.6	6.7	7.9	8.6	8.2	7.3	5.7	4.2	2.8	2.1	<b>5.44</b>
Valor medio	1.9	3.1	4.8	5.7	6.7	7.9	7.8	6.8	5.1	3.5	2.2	1.7	<b>4.77</b>
Percentil 25	1.2	2.1	3.6	4.1	5.1	6.8	7	6	4.2	2.5	1.5	1	<b>3.76</b>

## Huelva

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.9	4.2	5.7	7.1	7.7	8.3	8.1	7.4	6.2	4.7	3.5	2.7	<b>5.71</b>
Valor medio	2.5	3.7	5.2	6.2	7	8	7.7	7.1	5.7	4.2	3.1	2.3	<b>5.23</b>
Percentil 25	1.7	2.6	4.3	4.8	5.7	7.4	7.4	6.6	4.9	3.6	2.2	1.5	<b>4.39</b>

## Huesca

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.5	3.7	5.5	6.6	7.7	8.3	8.2	7.1	5.7	4.1	2.7	2.1	<b>5.35</b>
Valor medio	2	3	4.7	5.7	6.7	7.5	7.6	6.4	5	3.4	2.1	1.7	<b>4.65</b>
Percentil 25	1.3	2.1	3.5	4.1	5.1	6.3	6.6	5.5	4.1	2.5	1.4	1.1	<b>3.63</b>

## Jaén

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.9	4.1	5.5	6.6	7.6	8.3	8.1	7.2	5.8	4.5	3.2	2.5	<b>5.53</b>
Valor medio	2.5	3.5	4.9	5.8	7	7.9	7.8	6.8	5.3	3.9	2.7	2.1	<b>5.02</b>
Percentil 25	1.7	2.5	3.5	4.2	5.2	6.9	7.1	6.2	4.4	2.7	1.8	1.3	<b>3.96</b>



## León

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.4	3.4	5.4	6.9	7.8	8.5	8.1	7.1	5.7	4.2	2.5	1.9	<b>5.33</b>
Valor medio	1.8	2.8	4.6	5.7	6.6	7.9	7.7	6.6	5	3.4	2	1.5	<b>4.63</b>
Percentil 25	1	1.6	3	4.1	4.9	6.5	6.9	5.7	3.8	2.2	1.3	0.8	<b>3.48</b>

## Lérida

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.8	3.8	5.3	6.6	7.7	8	8.1	7.1	5.7	3.9	2.5	2	<b>5.29</b>
Valor medio	2.2	3.3	4.7	5.8	7	7.6	7.7	6.6	5.1	3.3	2.1	1.5	<b>4.74</b>
Percentil 25	1.4	2.4	3.8	4.4	5.5	6.6	7	6	4.3	2.4	1.3	0.9	<b>3.83</b>

## Logroño

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.3	3.4	5	6	7.2	7.7	7.8	6.8	5.3	3.7	2.7	2	<b>4.99</b>
Valor medio	1.7	2.7	4.1	4.7	5.8	6.6	7.2	6.1	4.6	3	2	1.5	<b>4.17</b>
Percentil 25	1.1	1.8	2.8	3.2	4	5.1	6	4.8	3.3	2	1.3	0.9	<b>3.03</b>

## Lugo

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2	3	4.7	6.3	6.8	8.5	7.7	6.7	5.3	3.9	2.2	1.9	<b>4.92</b>
Valor medio	1.5	2.2	3.7	4.8	5.3	7.2	6.6	5.8	4.4	3	1.6	1.4	<b>3.96</b>
Percentil 25	0.9	1.3	2.5	3.4	3.6	5.3	5.1	4.4	3.2	2.1	1	0.9	<b>2.81</b>

## Madrid

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.5	3.8	5.5	6.9	8	8.5	8.2	7.3	5.8	4.4	2.8	2.2	<b>5.49</b>
Valor medio	2.1	3.2	4.8	5.9	6.9	8	7.8	6.9	5.3	3.6	2.4	1.8	<b>4.89</b>
Percentil 25	1.3	2.2	3.7	4.4	5.4	6.9	7.3	6.4	4.6	2.7	1.6	1	<b>3.96</b>

## Málaga

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	3.1	4.4	5.7	6.9	7.7	8.2	8.1	7.3	6.2	4.8	3.6	2.8	<b>5.73</b>
Valor medio	2.8	3.9	5.1	6.1	7.1	7.8	7.8	6.9	5.7	4.3	3.1	2.4	<b>5.25</b>
Percentil 25	2.1	3	4.1	4.7	5.9	7.2	7.3	6.4	5	3.5	2.4	1.7	<b>4.44</b>

## Murcia

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	3.1	4.2	5.3	6.8	8.2	8.3	8.3	7.3	6	4.4	3.2	2.8	<b>5.66</b>
Valor medio	2.7	3.7	4.7	6.2	7.5	7.9	7.9	6.9	5.5	3.8	2.8	2.4	<b>5.17</b>
Percentil 25	2	2.8	3.7	4.8	6.2	7.1	7.5	6.3	4.6	2.9	2.1	1.7	<b>4.31</b>

## Ourense

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.2	3.1	5	6.8	7	8.5	7.9	7	5.5	4	2.4	2	<b>5.12</b>
Valor medio	1.6	2.4	4	5.4	5.6	7.4	7	6.2	4.7	3.1	1.8	1.5	<b>4.23</b>
Percentil 25	1	1.5	2.8	3.9	3.9	5.5	5.6	4.9	3.5	2.1	1.1	0.9	<b>3.06</b>

## Palencia

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.4	3.5	5.4	6.8	8.1	8.6	8.2	7.3	5.8	4.3	2.8	2.2	<b>5.45</b>
Valor medio	1.8	2.9	4.6	5.7	6.8	7.9	7.7	6.8	5.1	3.5	2.2	1.6	<b>4.72</b>
Percentil 25	1.2	1.9	3.3	4.2	5.3	6.6	6.9	5.9	4.2	2.4	1.5	1	<b>3.70</b>

## Pamplona

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.3	3.3	5.2	6.1	7.4	8.4	8.4	7.2	5.4	4	2.6	2	<b>5.19</b>
Valor medio	1.7	2.5	4.1	4.8	6	7.2	7.4	6.2	4.6	3.2	1.9	1.5	<b>4.26</b>
Percentil 25	1	1.5	2.8	3.2	4.1	5.4	5.8	4.8	3.3	2.2	1.3	0.9	<b>3.03</b>

## Pontevedra

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.1	2.8	4.8	6.7	6.6	8.1	7.4	6.5	5.2	3.6	2.4	2	<b>4.85</b>
Valor medio	1.5	2.3	3.9	5.3	5.3	7.2	6.7	5.9	4.6	2.8	1.8	1.5	<b>4.07</b>
Percentil 25	0.8	1.3	2.6	3.8	3.4	5.3	5.1	4.5	3.3	1.5	1	0.9	<b>2.79</b>

## Salamanca

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.7	3.7	5.6	7	8	8.5	8	7.4	5.6	4.5	3	2.3	<b>5.53</b>
Valor medio	2.1	3	4.6	5.8	6.8	7.9	7.7	6.8	5.2	3.6	2.3	1.7	<b>4.79</b>
Percentil 25	1.3	1.9	3.5	4.5	5.3	6.7	7	6	4.4	2.5	1.6	1.1	<b>3.82</b>

## San Sebastián

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.1	3.3	4.9	5.8	7.1	7.5	7.5	6.4	5.2	3.7	2.4	1.9	<b>4.82</b>
Valor medio	1.5	2.3	3.6	4.3	5.4	5.8	6	4.9	4.3	2.8	1.7	1.4	<b>3.67</b>
Percentil 25	0.8	1.2	2.2	2.5	3.3	3.6	3.6	3.2	2.8	1.8	1	0.9	<b>2.24</b>

## Segovia

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.5	3.4	5.2	6.5	7.5	8.1	8	7.1	5.5	4	2.7	2.1	<b>5.22</b>
Valor medio	2	2.8	4.4	5.4	6.3	7.5	7.6	6.6	5	3.3	2.1	1.6	<b>4.55</b>
Percentil 25	1.3	1.8	3.3	3.9	4.7	6.3	6.9	5.9	4.1	2.2	1.4	1	<b>3.57</b>

## Sevilla

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	3.1	4.3	5.6	7	7.9	8.3	8.2	7.5	6.3	4.9	3.5	2.9	<b>5.79</b>
Valor medio	2.5	3.6	5.1	6.2	7.1	7.9	7.8	7.1	5.7	4.2	3	2.3	<b>5.21</b>
Percentil 25	1.6	2.6	3.8	4.7	5.5	6.7	6.8	6.3	4.5	3.1	2.1	1.5	<b>4.10</b>

## Soria

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.4	3.7	5.7	6.7	7.9	8.3	8	7.2	5.7	4.2	3	2.2	<b>5.42</b>
Valor medio	1.9	3	4.8	5.5	6.5	7.3	7.5	6.7	5	3.4	2.3	1.6	<b>4.63</b>
Percentil 25	1.1	1.9	3.5	3.9	4.9	6	6.4	5.6	3.9	2.4	1.7	1	<b>3.53</b>

## Tarragona

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.6	3.8	5.1	6.4	7.5	8	8	6.8	5.5	3.8	2.6	2.3	<b>5.20</b>
Valor medio	2.1	3.2	4.5	5.5	6.7	7.5	7.6	6.2	4.9	3.2	2.2	1.9	<b>4.63</b>
Percentil 25	1.5	2.3	3.4	4.1	5.2	6.5	6.8	5.4	4.1	2.3	1.4	1.3	<b>3.69</b>

## Teruel

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.7	3.7	5.3	6.3	7.8	8.1	8.1	7	5.7	4	2.8	2.3	<b>5.32</b>
Valor medio	2.2	3.1	4.6	5.3	6.8	7.4	7.6	6.4	5	3.3	2.2	1.8	<b>4.64</b>
Percentil 25	1.5	2.2	3.4	3.8	5.2	6.2	6.8	5.6	4.1	2.4	1.5	1.2	<b>3.66</b>

## Toledo

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.8	3.9	5.5	6.7	7.8	8.3	8.1	7.2	5.7	4.2	2.9	2.5	<b>5.47</b>
Valor medio	2.2	3.3	4.8	5.9	6.9	7.9	7.8	6.8	5.2	3.6	2.4	1.9	<b>4.89</b>
Percentil 25	1.4	2.2	3.8	4.4	5.1	7	7.4	6.3	4.5	2.7	1.7	1.2	<b>3.98</b>

## Valladolid

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.5	3.5	5.4	6.8	8	8.5	8.1	7.3	5.8	4.3	2.9	2.2	<b>5.44</b>
Valor medio	1.9	2.9	4.6	5.7	6.8	7.9	7.7	6.8	5.2	3.5	2.2	1.7	<b>4.74</b>
Percentil 25	1.3	2	3.3	4.2	5.3	6.7	7	6	4.3	2.4	1.5	1.1	<b>3.76</b>

## Valencia

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	3	4	5.3	6.7	8.3	8.3	8.3	7	5.9	4.2	3.1	2.6	<b>5.56</b>
Valor medio	2.5	3.4	4.6	5.9	7.4	7.8	7.9	6.5	5.3	3.5	2.6	2.1	<b>4.96</b>
Percentil 25	1.8	2.4	3.5	4.4	6	6.8	7.3	5.8	4.4	2.7	1.8	1.5	<b>4.03</b>

## Zamora

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.5	3.6	5.6	7	8.1	8.7	8.2	7.4	5.7	4.4	2.8	2.2	<b>5.52</b>
Valor medio	1.9	3	4.7	5.9	6.9	8	7.8	6.8	5.2	3.5	2.2	1.7	<b>4.80</b>
Percentil 25	1.2	1.9	3.4	4.4	5.4	6.7	6.9	5.9	4.2	2.5	1.5	1	<b>3.75</b>

## Zaragoza

(kWh/m2)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Percentil 75	2.6	3.7	5.2	6.3	7.7	8.2	8	7	5.6	4	2.7	2.2	<b>5.27</b>
Valor medio	2.1	3.1	4.5	5.5	6.9	7.7	7.6	6.5	5.1	3.3	2.2	1.8	<b>4.69</b>
Percentil 25	1.3	2.3	3.2	3.9	5.4	6.5	6.9	5.8	4.2	2.4	1.5	1.1	<b>3.71</b>

## Recurso eólico de las Comunidades Autónomas/ provincias

Por su gran extensión el recurso eólico no se anexa en este documento sino que se adjunta junto con él en la plataforma de la Universidad destinada a dicho fin.



